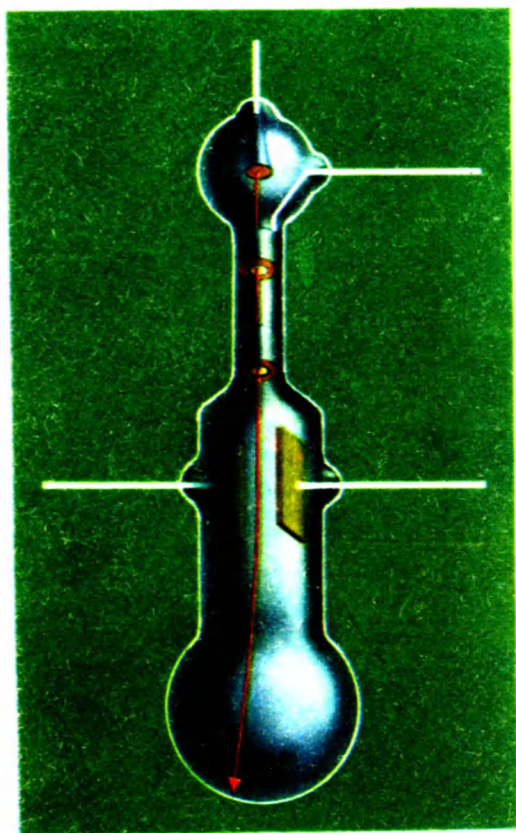


Люди  
науки

С. П. КУДРЯВЦЕВ

# Д. Д. ТОМСОН



Люди  
науки

С. П. КУДРЯВЦЕВ

# Д. Д. ТОМСОН

Книга для учащихся

МОСКВА  
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»  
1986

ББК 22.3г  
К88

Рецензенты: доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры общей физики  
физфака МГУ *Б. И. Спасский*;  
доктор физико-математических наук, профессор,  
зав. кафедрой физики Тбилисского педагогического института  
им. А. С. Пушкина *В. Д. Паркадзе*.

**Кудрявцев С. П.**

К88 Д. Д. Томсон: Кн. для учащихся.— М.: Просвещение,  
1986.—80 с.: ил.— (Люди науки).

В книге рассказано о жизни и научных трудах выдающегося английского физика конца XIX—первой трети XX в. Джозефа Джона Томсона, автора открытия электрона, создателя классической теории металлов, основателя школы физиков в Кавендишской лаборатории.

К  $\frac{4306020000-714}{103(03)-86}$  268—86

ББК 22.3г

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

В книге рассказывается о жизни и деятельности английского физика Джозефа Джона Томсона — автора открытия электрона, создателя одной из первых моделей атома, основателя Кавендишской школы физиков.

Томсон основные исследования провел на рубеже двух столетий. В это время происходили громадные перемены в развитии науки, техники, производства. Быстрыми темпами развивались энергетика, электрификация, связь, автотранспорт, самолетостроение. В организации науки проявляются черты, сходные с организацией общественного производства. Если в производстве создаются крупные объединения — монополии, то в физике ученые объединяют свои усилия для решения научных проблем. Создаются физические лаборатории, институты. В некоторых из них организуются крупные школы, объединяющие ученых различных стран. Одной из выдающихся школ физики, созданной в конце XIX столетия, стала школа Дж. Дж. Томсона в Кембридже, в знаменитой Кавендишской лаборатории.

Перемены в организации науки отразились и на ее прогрессе. Открытия с изумительной быстротой следовали друг за другом. В 1895 г. были открыты рентгеновские лучи, через год мир узнал о радиоактивности, в 1897 г. было получено сообщение об открытии электрона. Началась эра физики атома. Рушились устои классической физики. В 1900 г. возникла идея кванта энергии, противоречащая основным представлениям классической физики. Подверглись пересмотру неизбежные со времен Ньютона представления об абсолютном пространстве и времени. Появилась теория относительности.

Многие замечательные ученые вписали славные страницы в историю физики конца XIX и начала XX столетия. Среди них почетное место занимает Дж. Дж. Томсон.

## ЖИЗНЬ ТОМСОНА

---



Джозеф Джон Томсон

Выдающийся английский физик Джозеф Джон Томсон родился 18 декабря 1856 г. в Четхеме, предместье Манчестера.

Курс средней школы и предварительный университетский курс Томсон прошел в своем родном городе Манчестере. Манчестер был крупным промышленным центром Англии. Через него проходила первая железная дорога Великобритании Ливерпуль — Манчестер (1830). В Манчестере происходили чартистские выступления, заседал «Рабочий парламент» (1854). Здесь жили и работали многие выдающиеся ученые и изобретатели —

Джоуль, Дальтон, Стерджен. Здесь на средства купца Д. Оуэна в 1851 г. был выстроен колледж, который сыграл большую роль в жизни Томсона.

Вспоминая годы учения в школе, Томсон рассказывал, что он любил уроки латинского, математики, английского. На этих уроках многое приходилось учить наизусть, и Томсон считал это очень полезным. Сам он, уже будучи преподавателем, неоднократно применял метод заучивания наизусть для некоторых своих студентов, которые по каким-либо причинам имели слабую школьную подготовку по математике и физике. По-видимому, заучивание развивало их память, помогало уяснить непонятные положения, и в результате эти студенты успешно выдерживали трудный выпускной экзамен в университете — математический трипос. В школьные годы Томсон полюбил ботанику и устроил около своего дома маленький садик, где проводил бесчисленные ботанические опыты. Особенно его интересовала жизнь цветов. Томсон много читал о жизни цветов и на свои сбережения выписывал садоводческую газету. Вообще он думал, что станет ботаником. Однако жизнь распорядилась иначе.

Ко времени окончания Томсоном школы стала престижной профессия инженера, и его отец, продавец книг, мечтая об этой профессии для своего сына, собирался устроить мальчика учеником фирмы, (делающей локомотивы.) Но вакансии ученика фирмы надо было дожидаться неопределенное время, и родители решили отдать Джозефа в манчестерский Оуэн-колледж. В момент поступления в колледж Томсону исполнилось 14 лет, а в колледж принимали с 16-летнего возраста, поэтому семье Томсона пришлось изрядно поволноваться, пока руководство колледжа решало вопрос о его зачислении.

Поступление в Оуэн-колледж стало решающим в выборе жизненного пути Томсона. Сам он свое поступление считал счастливой случайностью, которая не могла произойти ни в каком другом английском провинциальном городе, кроме Манчестера. В колледже Томсон получил предварительное университетское образование. Здесь его учили многие замечательные педагоги-ученые, которые привили ему любовь к науке, к экспериментальным исследованиям. Среди них были физик Бальфур Стюарт, химик Генри Роскоу, математик Томас Баркер, физик и инженер Осборн Рейнольдс.

Бальфур Стюарт, известный своими исследованиями в области теплового излучения, один из первых ученых, создавших в Великобритании физическую лабораторию, впервые привлек Томсона к экспериментальным исследованиям. Томсон работал с большим энтузиазмом. Однажды, когда он многократно исследовал потери в весе при соединении ртути с йодом, произошел неожиданный взрыв, осколки стекла и горячий состав ртути и йода попали ему в глаза. К счастью, зрение не пострадало, и через несколько недель Томсон с прежним увлечением продолжал эксперименты.

Лекции Б. Стюарта по элементарной физике Томсон считал «притягательными и ясными», а его лекции о законах сохранения энергии заставили юношу задуматься о том, нельзя ли все различные виды энергий свести к одной — кинетической. Раздумья вылились в статью, опубликованную в «Трудах Королевского общества». Позже развитие этой темы составило предмет диссертации Томсона, которая в дальнейшем была в расширенном виде опубликована под названием «Приложение динамики к физике и химии».

Уже в первой статье Томсон проявил себя не только замечательным физиком, но и незаурядным математиком, и заслуга в раскрытии его математических способностей принадлежала профессору Оуэн-колледжа Томасу Баркеру. Томсон писал, что он не знал лучшего учителя математики, чем Баркер. Он ввел Томсона в мир высшей математики. Знакомство с основами высшей математики помогло Томсону уже в Оуэн-колледже понять и полностью принять «Трактат по электричеству и магнетизму» Максвелла, который был написан слож-

ным математическим языком и потому не понят многими выдающимися физиками того времени<sup>1</sup>.

Правда, при усвоении «Трактата...» Томсону помогли также лекции замечательного английского физика Артура Шустера (1851—1934). Шустер оставил след в истории физики своими работами в области физики газового разряда и спектроскопии. Он был учеником Максвелла в Кавендишской лаборатории. Шустер одним из первых ученых начал читать лекции по максвелловскому «Трактату...». Эти лекции, уже будучи старшекурсником, прослушал Джозеф Томсон, и они явно стимулировали его интерес к физике.

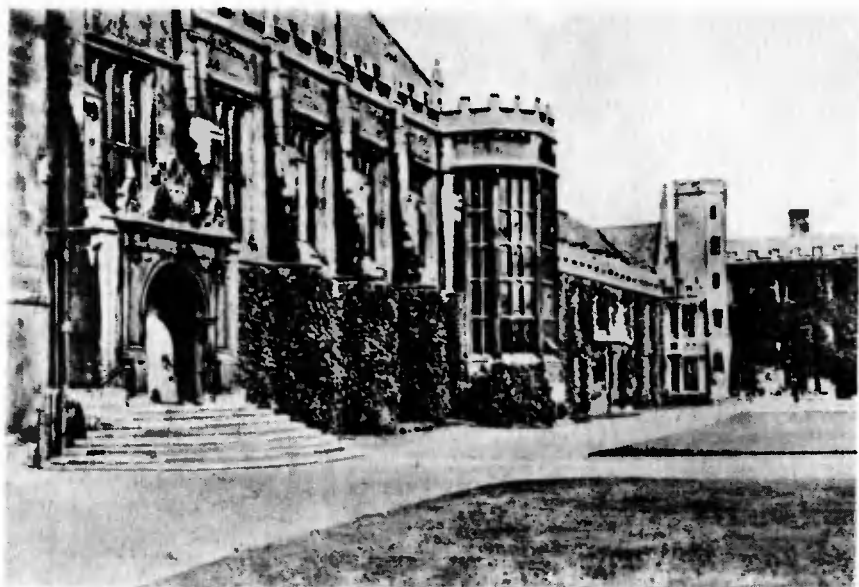
Развитию физического дарования Томсона способствовали также дискуссии с английским физиком Джоном Генри Пойнтингом (1852—1914). Физикам хорошо известна его работа «О переносе энергии в электромагнитном поле», опубликованная в «Трудах Королевского общества» в 1885 г. Заметим, что за 11 лет до выхода этой работы задачу о движении энергии решил замечательный русский ученый Николай Алексеевич Умов (1846—1915). О Пойнтинге Томсон писал: «... он имел оригинальный и острый ум, дискуссии с ним всегда проясняли мои старые идеи, часто наводили на новые<sup>1</sup>. Он был дружелюбен, обаятелен, остроумен, деликатен и когда был здоров, и когда был болен... Его общество всегда доставляло удовольствие».

Вначале Томсон намеревался проучиться в Оуэн-колледже три года на инженерном факультете, а затем устроиться учеником фирмы, делающей локомотивы. Однако когда он учился на втором курсе, у него умер отец. После этого Томсон уже не мог мечтать о карьере инженера, так как, чтобы стать учеником фирмы, надо было платить большие деньги. Таких денег у его матери не было, и Томсону надо было подумать о средствах к жизни и о дальнейшей своей судьбе.

В колледже Томсон, как лучший ученик, получал стипендию. Учителя пробудили в нем интерес к физике, математике, к научным исследованиям, и после пяти лет учебы, по совету математика Баркера, он держит экзамен на право получения стипендии в знаменитый Тринити-колледж. Славу этому колледжу создали его выдающиеся питомцы Ньютон и Максвелл. Первая попытка поступить в Тринити-колледж кончилась для

---

<sup>1</sup> «Трактат по электричеству и магнетизму» — главное сочинение выдающегося английского физика Джеймса Клерка Максвелла (1831—1879). Он вышел в свет в 1873 г. В «Трактате...» было обобщено все, что было сделано в области электричества и магнетизма, начиная с основ электростатики и кончая созданной Максвеллом электромагнитной теорией света. Главный труд Максвелла сначала не получил признания среди большинства физиков мира. Только опыты замечательного немецкого ученого Генриха Герца (1887—1889) и крупного русского ученого Петра Николаевича Лебедева (1899—1901) доказали справедливость теории Максвелла, сломили дух недоверия к ней физиков и обеспечили дальнейшее ее развитие.



Тринити-колледж

Томсона неудачно. Только на следующий год он получил наименьшую из назначаемых стипендий в 75 фунтов в год, а вместе с ней и возможность обучения в Тринити-колледже.

Тринити-колледж, как и 16 других колледжей, существовавших в то время, составлял основу Кембриджского университета. С Кембриджским университетом Томсон был связан большую часть своей жизни. Здесь он завершил работы, начатые еще в Оуэн-колледже, здесь он создал все то, что обеспечило ему славу первоклассного ученого и прекрасного педагога, поэтому скажем несколько слов об истории этого университета.

Кембриджский университет был организован, как и Оксфордский, по образцу одного из старейших университетов — Парижского, в XIII в. Вначале был создан Оксфордский университет. Ядро его составили студенты, закончившие Парижский университет. Слава Оксфорда постепенно росла, и в начале XIII столетия он стал соперничать с известными университетами Европы. По-видимому, ряд выпускников Оксфордского университета обосновался в Кембридже, положив тем самым начало Кембриджскому университету. Университет не получал от правительства никаких дотаций и существовал на деньги от сдачи в аренду недвижимого имущества, от взносов членов колледжей, от платы за экзамены, ученые степени и на деньги от случайных пожертвований. Законодательным органом Кембриджского университета являлся сенат, во главе

которого стоял канцлер, по существу, не принимавший участия в обычной жизни университета, а служивший представителем университета во внешних сношениях. Фактически дела университета вел вице-канцлер, который избирался из числа директоров колледжей на два года. Важнейшие вопросы университетской жизни рассматривал совет, состоявший из 16 постоянно менявшихся представителей. Первоначально преподавание велось в монастырях и церквях, затем стали создаваться колледжи, где жили и учились студенты университета. Колледжи Кембриджа были построены в различное время на средства меценатов. Первый — колледж св. Петра получил официальное признание в 1284 г. Он был построен на средства эльского епископа. Колледж св. Троицы — Тринити-колледж — был основан в 1546 г. на средства короля Генриха VIII.

Обучение в Кембридже сводилось к подготовке студентов с помощью наставников (тьюторов) к выпускным экзаменам — математическому трипосу. Среди известных наставников Томсона был математик Д. Раус. Выпускник Кембриджа 1854 г., занявший тогда первое место в математическом трипосе, Раус вошел в историю математики благодаря своим трудам по проблеме устойчивости движения (признак Рауса — Гурвица) и работам в области аналитической механики (преобразование и функция Рауса). Не меньшую известность



Д. Раус с учениками, сдавшими трипос в 1880 г.  
(в верхнем ряду пятый слева Томсон)

получила и его педагогическая деятельность. «Обучение у Рауса было не просто обычным репетиторством,— писал Дж. Томсон,— а было чтением ряда чрезвычайно ясных, превосходно построенных лекций, которые посещались гораздо лучше, чем лекции других математиков колледжа». Студенты охотно шли к Раусу в надежде на выпускном экзамене занять более высокое место, поскольку распределение мест в математическом трипосе влияло на карьеру выпускников. И Раус не обманывал их надежды. За 1855—1888 гг. он подготовил 27 отличников, и среди них Дж. Дж. Томсона и Дж. Лармора.

Многое Томсон почерпнул из лекций по математической физике (в основном по электродинамике Максвелла), читаемых профессором У. Нивеном, и лекций по математике Д. Глэйшира. Но наибольшее впечатление произвели на него лекции и беседы Джорджа Габриэля Стокса (1819—1903), крупного математика и физика. Имя Стокса вошло в историю физики благодаря его исследованиям в области гидродинамики (закон Стокса) и оптики (правило Стокса). Он пользовался почетом и славой в своей стране и занимал высшие научные посты: был президентом Лондонского Королевского общества, люкасовским профессором<sup>1</sup>, представлял Кембриджский университет в парламенте. Отметим, что полтора столетия назад такие же посты занимал и великий Ньютон.

Крайне немногословный в обычных разговорах, Стокс, как вспоминал Томсон, очень оживлялся, когда беседа касалась научных проблем. Беседы со Стоксом очень много давали юному Томсону. Они проясняли запутанные вопросы, наталкивали на новые идеи. Стокс, сам очень осторожный в научных выводах, научил этой осторожности и Томсона. Его лекции по оптике отличались глубиной и ясностью мысли, он богато иллюстрировал их экспериментами. Лекционные демонстрации Стокса были великолепны. Томсон вспоминал, что Стокс «имел в своем распоряжении только самые простые приборы.

Роль осветителя в его экспериментах выполняло солнце. Готовил эксперименты он сам до начала лекции... и они всегда у него получались... Лекции его зависели от положения солнца. Иногда солнце сияло так ярко, что вносило путаницу в течение лекции, и она продолжалась дольше обычного времени».

Томсон отдавал учебе много сил и времени, продолжая заниматься и в летние каникулы. И все же его кембриджская жизнь не ограничивалась только наукой. Он был молод, полон сил и часы досуга проводил так, как обычно проводила студенческая молодежь. Охотно занимался спортом, увлекался театром, любил встречаться с друзьями...

<sup>1</sup> Люкасовский профессор — профессор кафедры, организованной Генри Люкасом в 1663 г. в Тринити-колледже, в обязанности которого вменялось чтение лекций по какому-либо разделам математики. Пост этот после занятия его Ньютоном стал очень почетным для английских ученых.

Незаметно прошли три года учебы и наступили дни выпускных экзаменов. Выпускной экзамен — математический трипос — был по воспоминаниям Томсона, «трудным, тревожным и очень неудобным испытанием». Он проходил в январе 1880 г. и делился на два этапа. На первом этапе студенты три дня экзаменовались по элементарной математике, статике, динамике, гидростатике и ньютоновской оптике. Один день отводился экзамену по физике — теплоте, электричеству и магнетизму. Затем был перерыв в десять дней, когда подводились итоги экзаменов первого этапа. Только отличники первого этапа допускались до следующего цикла математического трипоса, который продолжался еще пять дней и требовал более углубленного знания предметов, предлагаемых на первом этапе. Томсон блестяще выдержал все этапы этого тяжелейшего испытания, получил степень бакалавра и остался в Кембридже для подготовки диссертации, необходимой для избрания в члены колледжа.

Тема его диссертации касалась проблемы сведения различных видов энергии к одной — кинетической. Этим вопросом он начал заниматься еще в Манчестере, в Оуэн-колледже. Кроме подготовки диссертации, Томсон держал еще экзамены по математике и философии Канта. Он успешно справился с новым испытанием и был выбран членом колледжа.

С этого времени началась его самостоятельная научно-педагогическая деятельность. Начало ее совпало с бурными событиями, потрясшими Кембридж. Студенты протестовали против некоторых порядков, введенных в университете, в частности против обязательной сдачи экзамена по греческому языку соискателями ученой степени, против дискриминации женщин, обучавшихся в двух женских колледжах Кембриджа, и против запрета на женитьбу членов колледжа. Томсону пришлось сдавать греческий язык, и он считал время, ушедшее на подготовку к этому экзамену, потраченным зря. Его также волновало бесправное положение студенток и преподавательниц женских колледжей, не могло не возмущать и средневековое правило, запрещающее брак членов колледжа.

Борьба студентов за улучшение порядков была длительной. Она то угасала, то вспыхивала с новой силой. В 1882 г. было наконец отменено правило, запрещавшее членам колледжа вступать в брак до получения звания профессора. В 1919 г. был упразднен экзамен по греческому языку для соискателей ученой степени, а еще через два года улучшилось положение женщин в университете — теперь они могли назначаться лекторами, экзаменаторами, получили право голоса в выборах представителей университета в парламент.

Через два года после избрания Томсона членом колледжа он стал ассистентом кафедры математики в Тринити-колледже. Педагогические обязанности его заключались в чтении лекций

по математике и индивидуальных занятиях со студентами. Томсон прекрасно справлялся с педагогической работой и подготовил ряд отличников — выпускников Кембриджа. В 1883 г. он был уже лектором и читал лекции по электричеству и магнетизму, динамике твердого тела. Лекции Томсона высоко ценились его студентами. Так, один из его учеников, Х. Невалл, писал: «Его лекции были ценны как в математическом отношении, так и в области экспериментальной физики. Быстрота и точность, с которой он оперировал математическими знаками, была поразительной». Нильс Бор писал: «Дж. Дж. Томсон поистине большой человек! Я невероятно много почерпнул из его лекций...»

Научно-педагогическая деятельность Томсона неразрывно связана с Кавендишской лабораторией, в которую он пришел работать сразу после получения ученой степени в 1880 г. Свои первые исследования в Кавендишской лаборатории он провел под руководством лорда Рэлея. Они относились в основном к области электромагнетизма. В них Томсон выступает как последователь и продолжатель дела Фарадея — Максвелла. Не останавливаясь пока на исследованиях Томсона, отметим, что за свои научные достижения он уже весной 1884 г. был выбран членом Лондонского Королевского общества, а в конце года, после ухода Рэлея с поста главы Кавендишской лаборатории, руководителем этой знаменитой лаборатории. Томсон превращает ее в крупный научный центр. Для него самого годы, проведенные в Кавендишской лаборатории, были вершиной его научных и педагогических достижений. В 1906 г. его классические исследования электропроводности газов были удостоены Нобелевской премии.

Многие ученики Томсона стали крупными учеными, а пять из них — Ч. Баркла, Г. Брэгг, Ч. Вильсон, Э. Резерфорд, О. Ричардсон — нобелевскими лауреатами. Томсон избирался президентом Лондонского Королевского общества, президентом Британской ассоциации содействия прогрессу наук, был награжден правительственными орденами и медалями различных научных обществ (орден «За заслуги», медали Копли, Юза, Ходкинса и др.). Он являлся членом многих академий наук, в том числе и Академии наук СССР.

Почет и слава, которыми он был окружен в своей стране, нисколько не изменили черты его характера, и он всегда оставался простым и скромным человеком. Томсон любил людей, его воспоминания наполнены восторженными страницами о многих его современниках — великих и простых. Макс Борн писал: «Когда я жил в Кембридже, он (Томсон) был глубоко взволнован судьбой жены и дочерей Генриха Герца, которые должны были покинуть Германию. Он сделал для них — и для очень многих других — все, что мог». Томсон был притягательным центром для многих. Его сын писал, что

«вряд ли существовал человек, с которым Томсон не сумел бы найти общего языка, или темы, по которой бы он не высказывал новые или хотя бы своеобразные взгляды».

Томсон был безгранично предан науке. Когда в 1925 г. его ученик Макс Борн приехал навестить учителя в Кембридж, то сын «Джи Джи» (как называли Томсона близкие люди) повел Борна к отцу. И первыми словами старого ученого были: «Здравствуйте! Посмотрите, вот этот спектр...»

Как вспоминал его сын, Томсон был «крайне неловким», и в основном его эксперименты подготавливал ассистент Эверет. Но эта неловкость рук Томсона с лихвой окупалась изумительной работой его головы.

Всем сердцем Томсон был привязан к Кембриджу. Лишь несколько раз он выезжал за границу. В качестве президента Британской ассоциации он в 1909 г. посетил Канаду, через год, как представитель Кембриджского университета, он выезжал в Берлин на празднование столетнего юбилея Берлинского университета, трижды был в Америке (1896, 1903, 1923), где читал курсы лекций. Его лекции в Америке вызвали большой интерес и были опубликованы.

Когда разразилась первая мировая война, Томсон вошел в состав правительственной комиссии, занимавшейся организацией научных исследований, важных для морского флота. В частности, ученые Кембриджа решали задачу обнаружения подводных лодок.

В 1918 г. Томсон получил высокий пост президента Тринити-колледжа. Через год он передал руководство Кавендишской лабораторией своему выдающемуся ученику Э. Резерфорду, но с лабораторией не порывал до конца жизни. Он оставил здесь небольшую комнату, где и работал со своими учениками.

Томсон умер 30 августа 1940 г. Он был похоронен в Вестминстерском аббатстве, там же, где и его великие соотечественники — Ньютон, Кельвин, Дарвин.

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ**

В 1893 г. вышла из печати большая книга Томсона «Замечания о современных исследованиях по электричеству и магнетизму, служащие продолжением трактата по электричеству и магнетизму профессора Клерка Максвелла», в которой были обобщены многие исследования по электромагнетизму, проведенные Томсоном с начала своей научной деятельности. Среди них эксперименты по проверке положений теории Максвелла — определение отношения электростатических единиц к электромагнитной.

Мы уже отмечали, что теория Максвелла была встречена с недоверием многими физиками. Для ее признания нужны были экспериментальные доказательства. Эксперименты по проверке отношения электростатических единиц к электромагнитной<sup>1</sup> являлись «пробным камнем» максвелловской теории света. Согласно теории Максвелла, это отношение должно равняться скорости света. Для этого вывода у Максвелла были экспериментальные обоснования. Ему были известны результаты экспериментов по определению отношения электростатических единиц к электромагнитной известного немецкого физика Вильгельма Вебера (1804—1891), крупнейшего английского физика Уильяма Томсона (Кельвина) (1824—1907). Сравнивая их результаты с известным тогда значением скорости света, Максвелл писал: «Очевидно, что скорость света и отношение единиц являются величинами одного и того же порядка. Ни об одной из них нельзя сказать, что она до сих пор определена с такой степенью точности, которая позволяла бы нам утверждать, что одна величина больше или меньше другой. Следует надеяться, что в результате дальнейших опытов отношение между размерами этих двух величин будет установлено более точно».



Джеймс Клерк Максвелл

Обращение Томсона к этим экспериментам было вызвано его желанием добиться более точных результатов. Ему удалось это сделать. Томсоновские результаты были наиболее точными из всех известных тогда результатов экспериментов по проверке отношения электростатических единиц к электромагнитной единице.

Конечно, эти исследования не были решающими в деле экспериментального доказательства теории Максвелла, но они безусловно содействовали укреплению ее позиций. Напомним, что опыты Г. Герца и П. Н. Лебедева были основными экспериментальными доказательствами теории Максвелла. Герц получил электромагнитные волны, предсказанные теорией Максвелла, и доказал их полную тождественность световым волнам. Лебедев провел тонкие эксперименты по измерению

<sup>1</sup> Сейчас в физике стала более употребительна система единиц измерения СИ, в которой основные законы электромагнетизма записываются в рационализированном виде. Постоянная, характеризующая отношение электростатических единиц к электромагнитной, в СИ не употребляется.



Генрих Герц



Петр Николаевич Лебедев

светового давления и показал, что оно соответствует теоретически рассчитанному Максвеллом.

Вернемся, однако, к книге Томсона «Замечания о современных исследованиях по электричеству и магнетизму...». Уже само название книги показывает, что свои исследования в области электромагнетизма Томсон считал продолжением дела Фарадея — Максвелла. Первая часть этой книги посвящена истолкованию фарадеевских силовых трубок и уравнений Максвелла.

Во времена Фарадея общепринятой теорией, объясняющей явления электромагнетизма, была теория несоздаваемых и неуничтожимых электрических и магнитных жидкостей. Эта теория заключала в себе идею о мгновенной передаче действия на расстояние. Примером такой передачи действия может служить передача тяготения. Ньютоновская сила тяготения не зависела от свойств окружающего пространства, она была центральной и действовала мгновенно, каким бы большим ни было расстояние между взаимодействующими телами. Так же действовала и сила между электрическими зарядами — кулоновская сила. Схожий закон описывал и взаимодействие магнитных полюсов. Многих известных физиков и во времена Фарадея, и в последующие времена вполне устраивало взаимодействие на расстоянии. Французский физик Андре Мари Ампер (1775—1836) свой электродинамический закон рассматривал как действие на расстоянии. Вебер на основе дальнедействующих сил искал закон, охватывающий все известные в его время электромагнитные взаимодействия. Известно, что с позиций дальнедействующих сил одно время пытался объяснить электромагнитные взаимодействия и такой известный ученый, как Г. Гельмгольц (1821—1894).

Идея взаимодействия на расстоянии нашла и своих про-

тивников, среди которых был выдающийся английский физик Майкл Фарадей (1791—1867). Фарадея глубоко заинтересовала роль среды во взаимодействиях. Начало изучению этой роли было положено им в исследованиях электромагнитной индукции, когда он ввел предположение об особом «электротоническом» состоянии материи вокруг магнита или проводника, по которому протекал электрический ток. Развитие этой идеи привело Фарадея к понятию поля, способом выражения которого были силовые линии. Для количественных подсчетов взаимодействий Фарадей вводит понятие силовых трубок — трубчатых поверхностей, составленных из силовых линий.



Майкл Фарадей

Известно, что законы электромагнетизма Фарадей формулировал с помощью силовых линий и трубок. Его идеи получили развитие в трудах Максвелла, который не только придал им ясную математическую форму, но и значительно укрепил позиции сторонников близкодействия.

Томсон продолжает развивать понятия Фарадея о силовых линиях и трубках. Он использует их гораздо шире и полнее, чем это делал Максвелл. Как и у Фарадея, силовые линии у Томсона — это реальные образования. Он их сравнивал с молекулами в кинетической теории газов. Различные явления электромагнетизма Томсон объяснял движением фарадеевских трубок или изменением в их положении или форме. «Этот взгляд на электрические явления, — писал он, — может считаться образующим род молекулярной теории электричества, причем фарадеевские трубки занимают место молекул в кинетической теории газов... Точно так же эти трубки похожи на молекулы газа и в другом смысле, когда мы рассматриваем их как неспособные к разрушению или возникновению». Эта выдержка показывает, что с самого начала своей научной деятельности в области электромагнетизма Томсон встает на позиции электронной теории.

Томсон считал, что метод силовых линий и трубок Фарадея — это физический метод. «Этот метод, — писал он, — имеет все преимущества наглядности, вытекающей из использования конкретных величин вместо абстрактных символов... Им легко оперировать и потому он особенно пригоден для быстрого изучения основных особенностей проблемы; однако при детальной разработке аналитический метод (метод математических формул и символов. — С. К.) необходим. При исследо-

вании какой-либо из различных областей электричества мы должны действовать в соответствии с предписанием Бэкона, что наилучшие результаты достигаются тогда, когда исследование начинается Физикой, а заканчивается Математикой».

Эта цитата, взятая из предисловия к книге «Замечания о современных исследованиях по электричеству и магнетизму...», определяет основную методологическую установку Томсона. При исследовании физических явлений он широко использует наглядный физический метод и умело сочетает его с математикой. При этом Томсон отводит большую роль конкретной наглядной модели явления.

Современная теоретическая физика не пошла по пути Томсона. Она отбросила наглядные физические модели явлений и заменила их математическим описанием. Но этот метод позволил Томсону сделать немало замечательных открытий и помогал ему в педагогической деятельности. Так, с помощью представлений о фарадеевских трубках Томсон объяснял максвелловский ток смещения. Необходимость введения этого наглядного представления при истолковании тока смещения возникла у него оттого, что студенты, которым он читал лекции по электродинамике, не понимали этого вопроса. Для них уравнения Максвелла были не более чем системой дифференциальных уравнений. Томсон объяснял ток смещения в диэлектрике разностью числа фарадеевских трубок, выходящих из произвольной единичной площадки, перпендикулярной направлению трубок, и числом трубок, входящих в эту площадку.

Фарадеевские трубки помогли Томсону и в объяснении движения заряженной сферы — математическом исследовании, опубликованном еще в 1881 г. в «Трудах философского общества», из которого родилось важное открытие — понятие электромагнитной массы.

Рассуждения Томсона, приведшие его к этому результату, были следующими. Пусть равномерно движется заряженная сфера радиуса  $a$ . Если скорость сферы мала по сравнению со скоростью света, то фарадеевские трубки будут равномерно распределены по радиальным направлениям так, как если бы сфера была в покое. Они будут перемещаться вместе со сферой. Движущиеся трубки порождают магнитное поле, напряженность которого  $H = \frac{ev \sin \alpha}{r^2}$ , а энергия в единице объема

$\frac{\mu H^2}{8\pi}$ , где  $\mu$  — магнитная проницаемость. Полная энергия магнитного поля равна:

$$\int_v \frac{\mu H^2}{8\pi} dV = \frac{1}{3} \frac{\mu e^2 v^2}{a}.$$

При движении сфера массой  $m$  обладает кинетической энергией  $\frac{mv^2}{2}$ . К этой энергии следует добавить энергию магнитного поля:

$$W = \frac{mv^2}{2} + \frac{1}{3} \frac{\mu e^2 v^2}{a} = \frac{1}{2} v^2 \left( m + \frac{2}{3} \frac{\mu e^2}{a} \right).$$

Таким образом, получается, что полная энергия равна кинетической энергии заряженной сферы, у которой масса стала  $m + \frac{2}{3} \frac{\mu e^2}{a}$ . Добавку  $\frac{2}{3} \frac{\mu e^2}{a}$  называли электромагнитной массой. «Это очень важный результат,— пишет Томсон,— так как он показывает, что часть массы заряженной сферы обязана своим происхождением ее заряду». Томсон находит для этой электромагнитной массы простую механическую аналогию — движение сферы в жидкости без трения. Движущаяся сфера приводит в движение и окружающую ее жидкость. «Скорость жидкости пропорциональна скорости движения сферы, «так что, двигая сферу,— пишет Томсон,— мы должны приводить в движение не только вещество самой сферы, но и окружающую жидкость; в результате сфера ведет себя так, как будто ее масса увеличилась на некоторый определенный объем жидкости. Этот объем, как было показано Гринем в 1833 г., равен половине объема сферы...».

Итак, Томсон по-новому посмотрел на понятие массы тела. Оказывается, что при движении заряженных тел необходимо к обычной массе прибавлять массу, обусловленную магнитным полем. Из теории Томсона вытекало важное следствие, что дополнительная масса должна зависеть от скорости. В «Замечаниях о современных исследованиях по электричеству и магнетизму...» Томсон приходит к заключению, что при скорости заряженного тела, равной скорости света, дополнительная масса увеличивается до бесконечности, и, следовательно, «невозможно возрастание скорости заряженных тел, движущихся через диэлектрик, до скорости, большей скорости света». Это есть, по существу, релятивистский вывод о предельном значении скорости света, высказанный Томсоном задолго до Альберта Эйнштейна — творца теории относительности. Раньше Эйнштейна Томсон получил соотношение между электромагнитной массой и энергией  $E = mc^2$ . Конечно, это не означает, что Томсон был одним из создателей теории относительности. Теория относительности — это не просто конкретные выводы о зависимости массы от скорости, постоянстве скорости света и т. д., а прежде всего новый взгляд на пространство и время. Томсон же, как мы знаем, до конца жизни заполнял пространство эфиром. Но безусловно, что результаты, полученные

Томсоном, поставили перед физикой ряд вопросов, разрешение которых в конечном счете способствовало пересмотру старых представлений о массе, импульсе, пространстве, времени.

Томсон показал, что для известных тогда заряженных микроскопических тел эффект электромагнитной массы ничтожен. Однако позже был открыт электрон, для которого электромагнитная масса играла существенную роль. Оказалось, что для этой частицы обычной массы нет, а вся масса — электромагнитная. Этот результат поставил физиков в трудное положение. Некоторые из них стали говорить о невыполнении закона сохранения масс, об «исчезновении материи». Мы еще остановимся на вопросе о разрешении трудностей, вызванных открытием электромагнитной массы. Сейчас же отметим, что для Томсона открытие электромагнитной массы, зависимости ее от скорости движения тел не вызвало затруднений в объяснении закона сохранения масс. Он считал, что электромагнитная масса распределяется в пространстве, окружающем заряженное тело, т. е., говоря современным языком, электромагнитное поле обладает вещественной массой. Тогда в системе «тело и электромагнитное поле» выполняется закон сохранения масс, поскольку в ней всякому изменению массы тела соответствует подобное изменение массы поля.

Понятие импульса в теорию электромагнитного поля ввел также Томсон. Если вернуться к его примеру о движении заряженной сферы, то можно сказать, что вследствие движения такой сферы увеличивается не только ее масса, но и импульс, и он будет не  $m\vec{v}$ , а  $\left(m + \frac{2\mu e^2}{3a}\right)\vec{v}$ .

Введение Томсоном в теорию электромагнитного поля вектора импульса этого поля позволило ему спасти третий закон Ньютона и закон сохранения импульса от нарушений, которые наблюдались для тел, несущих заряды. Всякому изменению импульса заряженного тела соответствует такое же изменение импульса поля, т. е. выполняется закон сохранения импульса, а следовательно, и третий закон Ньютона.

Отметим, что опыты нашего замечательного русского физика П. Н. Лебедева по обнаружению светового давления убедительно доказали, что электромагнитное поле обладает импульсом. Получило экспериментальное подтверждение и теоретическое открытие Томсоном электромагнитной массы. Немецкий физик Вальтер Кауфман (1871—1947), начиная с 1901 г., провел серию опытов по определению удельного заряда  $\left(\frac{e}{m}\right)\beta$  — частиц, испускаемых радиоактивными веществами. Он нашел, что отношение заряда этих частиц к массе уменьшалось при возрастании скорости частиц. Предполагая, что заряд частиц остается постоянным, он получил, что

масса частиц увеличивается со скоростью. Он также попытался определить, какая часть массы частиц относится к обычной массе, а какая — к электромагнитной, и пришел к заключению, что вся масса имеет электромагнитное происхождение.

Этот вывод был подтвержден и дальнейшими исследованиями Томсона. Конечно, все эти результаты носили приближенный характер, поскольку прямой эксперимент не мог дать ответа на вопрос, какая часть массы частицы относится к обычной, а какая — к электромагнитной массе.

Итак, уже в своих ранних работах Томсон получил результаты огромной важности, вызвавшие коренную ломку привычных представлений.

Большинство исследований этого периода Томсон проводил в знаменитой Кавендишской лаборатории, организованной Дж. К. Максвеллом, дело которого Томсон продолжал в своих исследованиях. Максвелл и лаборатория Кавендиша сыграли особую роль в жизни Томсона, поэтому нам представляется важным рассказать об истории этой лаборатории.

## КАВЕНДИШСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

С середины XIX столетия в организации физической науки происходят важные перемены. В это время сначала в некоторых развитых странах Европы, а затем и в США создаются физические лаборатории, где проводится обучение практической физике и ведутся коллективные научные исследования под руководством маститых ученых.

В прошлом физик работал в одиночку. Приборы обычно покупались на собственные деньги или изготавливались самими учеными. Нередко лабораториями служили частные комнаты. Известно, что опыты по разложению белого света Ньютон проводил в своей кембриджской квартире. Физическим прибором ему служила призма, купленная на собственные деньги. Рихман и Ломоносов занимались исследованиями атмосферного электричества с «громовыми машинами», построенными каждым у себя на дому. Джоуль свои эксперименты по определению механического эквивалента теплоты проводил дома в Манчестере. Френель в доме матери, в селе Матье близ Канна, занимался исследованиями дифракции, используя примитивные приборы и приспособления, сделанные для него сельским слесарем. Фарадей в своих исследованиях обходился мотками проволоки, кусками железа, магнитными стрелками. И таких примеров можно привести много. Причем все эти люди не проходили какого-либо курса обучения в лабораторном практикуме. Его тогда просто не было. Преподавание велось в классическом духе, основное внимание уделялось гуманитарным и математическим наукам. Физике отводилось мало

места, а обучение сводилось к чтению лекций и штудированию учебников.

Вторая половина XIX столетия отмечена бурным ростом всех видов промышленности. Металлургия и горное дело, машиностроение, химическая промышленность, теплотехника, электротехника, транспорт, связь, военная промышленность переживают коренные изменения — количественные и качественные. В это время начинает действовать трансконтинентальная связь, появляются телефон, электрическое освещение, электродвигатели, паровые турбины, двигатели внутреннего сгорания.

Все больше развивается связь физики с техникой, производством. Известен пример из истории оптической фирмы «Цейс», когда союз ученого Аббе и техника Цейса принес огромные плоды. Микроскопы, выпускаемые здесь, были тогда непревзойденными. К концу XIX в. фирма «Цейс» разрослась, и в ней уже работало много физиков и техников. Н. А. Умов писал об этой фирме: «Мы имеем перед глазами учреждение, в котором слились в неразрывное целое академия и фабрика, труд научный и труд физический».

Первый телеграф в Великобритании был детищем ученого Ч. Уитстона и предпринимателя В. Кука. Кук впервые увидел телеграф в Гейдельбергском университете. Его попытка создать подобный аппарат в Лондоне потерпела неудачу, тогда он обратился за помощью к ученому Уитстону, и вскоре благодаря союзу ученого и предпринимателя заработал телеграф в Великобритании.

Для выполнения сложнейшей инженерной задачи — прокладки трансатлантического кабеля, связывающего Европу с Америкой, предпринимателями был приглашен профессор Уильям Томсон. И эта грандиозная техническая задача была успешно решена в 1866 г. благодаря союзу ученых и техников.

В свою очередь, техника давала науке все более мощные средства познания природы. Дж. Дж. Томсон говорил о том, что часто промышленность двигает вперед науку. По его мнению, представления о строении материи были революционизированы потому, что развитие электроламповой промышленности потребовало новых воздушных насосов. Улучшение воздушных насосов позволило получить такой вакуум, что сделало возможными опыты и измерения, которых нельзя было осуществить раньше. «При таком давлении мы можем изучать свойства отдельных молекул, — писал Томсон, — в то время как при более высоком мы можем только изучать их поведение в плотной толпе... Это имеет крайнюю важность для прогресса науки».

К этому времени значительно усложнились физическая теория и эксперимент. Появилась теория электромагнитного поля Максвелла, получила быстрое развитие термодинамика

на основе общих принципов, быстро развивалась молекулярно-кинетическая теория и другие разделы физики. По существу в это время теоретическая физика появляется как самостоятельный раздел физики.

В условиях быстрого роста промышленности, усиления взаимосвязи науки и техники отчетливо осознается возросшая роль физики. Промышленники и государственные деятели начинают понимать, что для развития производства, для успешной конкуренции необходимо всемерно развивать науку, субсидировать научные исследования, заботиться о постоянном притоке научной молодежи, а следовательно — создавать новые учреждения, которые могли бы удовлетворить постоянно растущие нужды в научных кадрах. Нужны были ученые, решающие не только задачи прикладного значения, но и занимающиеся так называемой чистой наукой. Важность ее становилась все очевиднее. Дж. Дж. Томсон говорил: «Открытия в прикладной науке могут произвести преобразование, а в чистой науке ведут к революции». Всякое подлинное открытие в чистой науке рано или поздно всегда находит практическое применение. Так, многие открытия Фарадея в физике и химии стали источником новых отраслей техники (техники низких температур, электрохимии, электротехники). Открытие Рентгена нашло применение в медицине, металлургии.

В новых условиях необходимо было предусмотреть новые формы и темпы подготовки ученых. Старые образовательные учреждения были не в состоянии выполнить эту роль, перестройка их была необходима. Вначале важность реформы физического образования была осознана лишь немногими учеными-педагогами. Они прилагали неимоверные старания, чтобы в скромных условиях начать работу по обучению студентов физическому эксперименту. Их опыт приобретал широкое распространение в том случае, если он получал всестороннюю поддержку общества, т. е. тогда, когда созревали необходимые экономические условия. Так, в крепостной России были ученые, понимавшие важность практического обучения физике. В их числе были Василий Владимирович Петров (1761—1834) — конструктор большой гальванической батареи, автор открытия электрической дуги, организатор первого физического кабинета при Медико-хирургической академии (1795) и Эмилий Христианович Ленц (1804—1865), хорошо известный как один из авторов закона Джоуля — Ленца и автор знаменитого «правила Ленца». Их желание организовать физические лаборатории не осуществилось, хотя они и привлекали студентов к экспериментальным исследованиям. Экономические условия крепостной России были таковы, что общество еще не видело важности создания лабораторий.

Другая картина наблюдалась в Германии. Известный уче-



ставить средства на строительство лаборатории в размере 6300 фунтов стерлингов.

Встал вопрос о руководителе лаборатории. На этот пост приглашали виднейших физиков — Уильяма Томсона и Германа Гельмгольца, но оба ученых по различным соображениям отказались от этого поста. Выбор пал на Максвелла, и 8 марта 1871 г. он был избран первым профессором Кавендишской лаборатории. «Во время избрания Максвелла работы его были мало известны, его слава была совсем не та, что сейчас, — вспоминал Дж. Дж. Томсон. — «Трактат по электричеству и магнетизму» появился двумя годами позже, и хотя он публиковал фундаментальные идеи в научных журналах задолго до его избрания, они привлекали мало внимания. Репутация его поддерживалась, в основном, благодаря работе по кинетической теории газов».

8 октября 1871 г. первый профессор Кавендишской лаборатории прочитал свою вступительную лекцию о функциях экспериментального практикума в подготовке ученых-физиков. В ней были такие слова: «Мы должны начать в лекционном зале с курса лекций по какой-нибудь отрасли физики, пользуясь опытами как иллюстрациями, и закончить в лаборатории рядом исследовательских опытов».

Максвелл высказал важные мысли о назначении преподавателя. Главное для преподавателя — это сконцентрировать внимание студента на проблеме. Полемизируя с противниками экспериментального обучения, Максвелл заявлял, что если человек увлекается проблемой, вкладывает всю душу в ее разрешение, если он понял главную пользу математики в применении ее для объяснения природы, то не будет нанесен ущерб основной специальности, экспериментальные знания не смутят веру в формулы учебников, студент не будет чрезвычайно утомляться.

Максвелл много времени уделял вопросам строительства и организации лаборатории. Он изучал опыт создания подобных учреждений за границей и в своей стране.

16 июня 1874 г. произошло торжественное открытие лаборатории. На нем был замечательный русский ученый А. Г. Столетов (1839—1896), который написал отчет об этом событии в газету «Московские ведомости».

Кавендишская лаборатория — это красивое трехэтажное здание, в котором находились комнаты для экспериментов по электричеству, магнетизму, теплоте, оптике, акустике, лекционная аудитория, препараторская и т. д. Все столы лаборатории покоились на балках, не зависящих от пола, что позволяло производить очень тонкие эксперименты, не боясь сотрясений. На крыше лаборатории был укреплен металлический шест, соединенный проводкой со всеми комнатами. Это давало возможность в любой момент измерить потенциал атмосферного



Кавендишская лаборатория

электричества. Люки в полах позволили протянуть провода между этажами, подвесить маятник Фуко и т. п. Во всех комнатах лаборатории были газ, вода, свет.

Занятия в лаборатории начались с октября 1874 г. На первых порах в лабораторию пришло мало желающих. Это были студенты, сдавшие математический трипос и желавшие получить навыки практической работы. В числе первых был В. Хик — впоследствии глава Фес-колледжа в Шеффилде, который измерял в лаборатории горизонтальную компоненту напряженности магнитного поля Земли.

Среди пионеров лаборатории был также Д. Гордон — впоследствии ученый и инженер, под руководством Максвелла определявший точные значения электрических констант.

Георг Христалл, также первый студент лаборатории, впоследствии ставший профессором математики Эдинбургского университета, проверял справедливость закона Ома (эксперимент был предложен ему Максвеллом, им же была сконструирована установка). Необходимость этой проверки возникла оттого, что некоторые ученые, в частности А. Шустер и В. Вебер, высказывали соображения, что закон Ома при сильных токах будет неверен. Был даже создан комитет Британской ассоциации для экспериментальной проверки закона Ома. Максвелл писал Кэмпбеллу, что Христалл «непрерывно работал с октября, проверяя закон Ома, и Ом вышел из испытаний с триумфом».

Весной 1876 г. Артур Шустер, в будущем известный ученый, попросил у Максвелла разрешения поработать в лаборатории. Максвелл ответил согласием. Шустер вначале провел здесь исследования по диамагнетизму. Детали этих исследований были обсуждены в письмах Максвелла и Шустера. Далее Шустер увлекся исследованиями в области спектроскопии и прохождения электричества через газы.

Большинство тем исследований, проведенных в максвелловское время, было подобрано главой лаборатории. Однако Максвелл предоставлял своим ученикам полную самостоятельность в выборе тем. Он говорил Шустеру: «Я никогда не пытался отговорить человека от попытки эксперимента. Если он не найдет то, что хочет, он может найти нечто другое».

Все работавшие у Максвелла, прежде чем приступить к оригинальным исследованиям, проходили небольшой общий практикум, изучали приборы, учились делать отсчеты и т. п. Этим Максвелл закладывал основы будущего общего практикума лаборатории. Сам Максвелл не предпринимал в лаборатории сколько-нибудь серьезных экспериментальных исследований ввиду болезни. 5 ноября 1879 г. Максвелл скончался.

Помимо руководства исследованиями в лаборатории Максвелл много времени отдавал редактированию трудов Генри Кавендиша, который опубликовал при жизни всего две статьи



Генри Кавендиш

и оставил неопубликованными двадцать пачек рукописей по математике и экспериментальному электричеству. Максвелл, изучив эти работы и проделав опыты, описанные в них, выпустил в 1879 г. статью под названием «Электрические исследования Генри Кавендиша». Из нее следовало, что Кавендиш задолго до Ома установил закон, который пришлось переоткрывать Ому, сформулировал закон Кулона, ввел понятие электростатической емкости. Интересно отметить, что все эти законы Кавендиш открыл, не имея электроизмерительных приборов, которые еще не были изобретены. Электрическое действие оценивалось им по физиологическим ощущениям человеческого организма.

Максвелл точно воспроизводил опыты Кавендиша и был очень увлечен изучением его наследия. Так, Шустер вспоминал разочарование молодого американского астронома, приехавшего в Кембридж специально для того, чтобы обсудить с Максвеллом некоторые темы из астрономии, но «Максвелл говорил только о Кавендише и почти вынудил его снять пиджак и опустить руку в таз с водой, чтобы получить ощущение от серии электрических ударов».

12 декабря 1879 г., после смерти Максвелла, по специальному разрешению сената был избран второй профессор Кавендишской лаборатории — лорд Д. Рэлей (1842—1919). Он начал свою работу в весенний семестр 1880 г. с чтения курса лекций по физической аппаратуре, а затем начал активно привлекать к работе в лаборатории старшекурсников. Рэлей продолжил исследовательскую работу, начатую Максвеллом, по определению абсолютных значений электрических величин. Три года напряженной работы Рэрея в сотрудничестве с Шустером и другими привели к определению единицы сопротивления (ома). Ими также были уточнены значения ам-

пера и вольты. Электрические стандарты, вычисленные Рэлеем, за небольшими изменениями, были приняты Международным электрическим конгрессом в Чикаго в 1892 г.

В 1880 г., после получения ученой степени, в лабораторию пришел Дж. Дж. Томсон. Свои первые исследования он проводил под руководством Рэлея. 22 декабря 1884 г., после ухода Рэлея, 27-летний Томсон назначается третьим профессором Кавендишской лаборатории.

В 1888 г. Томсон основал курсы-практикумы для студентов-медиков. Это привело к резкому увеличению числа студентов, занимавшихся в лаборатории. В связи с этим пришлось перевести медицинские классы в старые комнаты-анатомички, пока в 1896 г. не был открыт южный флигель лаборатории. Но и этого оказалось недостаточно, так как в 1896 г. в лабораторию стали приходить выпускники других университетов, которые после двух лет работы получали степень бакалавра и удостоверение исследователя. Студенты, стремившиеся к самостоятельной исследовательской работе, начали приезжать в Кембридж.

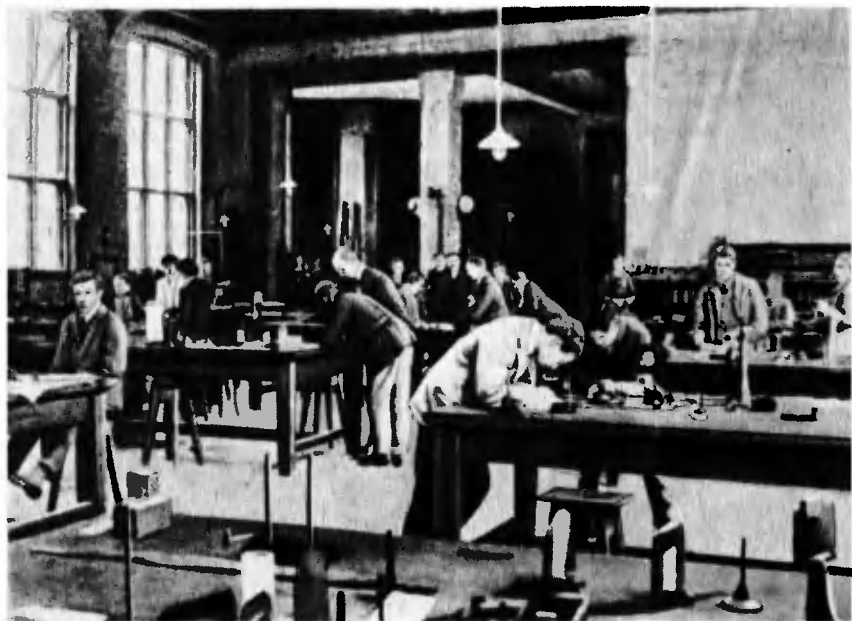
В 1906 г. Рэлей пожертвовал большую часть своих средств на строительство левого крыла Кавендишской лаборатории, которое было закончено в 1910 г. Расширение лаборатории, в свою очередь, потребовало увеличения штата и совершенствования методов обучения. В связи с этим Томсон организует еще одну, так называемую демонстраторскую, кафедру и лекторскую. Значительно возросло число курсов лекций. В эти годы лекции читали Д. Стокс, Ч. Вильсон, Д. Лармор и др. Лекции Томсона, сопровождавшиеся показом опытов, высоко ценились студентами. В 1888 г. Томсон, в частности, повторил на лекции по электричеству и магнетизму эксперимент Герца, обнаружившего электромагнитные волны. Энтузиазм слушателей, как вспоминал сам Томсон, был исключительным.

Много сил Томсон отдавал развитию и совершенствованию физических практикумов. К работе над этим он привлекает наиболее одаренных преподавателей.

Так, курсами практического обучения студентов, занимавшихся более углубленным изучением физики, руководил Ч. Вильсон. В этих классах были свои особенности: здесь студентам предлагалась проблема, давался список литературы, и они самостоятельно приступали к разрешению проблемы. Наиболее важным в работе со студентами-исследователями



Джон Рэлей



Учебная лаборатория Кавендиша

Томсон считал поддержание в них творческого энтузиазма. В послании Британской ассоциации он с убежденностью констатировал, что отсутствие энтузиазма — наиболее частая причина неудач. Томсон также предупреждал о тормозящем действии на энтузиазм студентов затянувшегося курса академического обучения.

Интересны были правила выполнения работ, составленные Дж. Дж. Томсоном. Процитируем эти правила с некоторыми сокращениями.

«Исполнением следующих простых правил студенты часто будут в состоянии избавить себя от серьезных ошибок и приобретут хорошие привычки...

1. Записывайте все ваши наблюдения. Наиболее обильный источник ошибок — это записывание выводов вместо наблюдений...

2. Записывайте ваши наблюдения сейчас же после того, как они сделаны...

3. Не пишите в пяти или шести различных направлениях... Напишите сверху и постепенно изводите всю бумагу до низа страницы. Это позволит вам отыскать сразу любое сделанное вами наблюдение.

4. Обращайте внимание на то, чтобы ясно обозначить единицы измерения в каждой стадии работы и определить единицы, в которых выражается результат.

5. Спрашивайте себя по возможности, имеет ли смысл ваш результат...

6. Пишите ясно все цифры... гораздо лучше писать большие цифры так:  $4,19 \cdot 10^7$ .

(7-й пункт говорил о правилах построения диаграммы.)

8. Умейте соблюдать пропорцию. Не делайте некоторых наблюдений (например, массы) с точностью до  $1/100\ 000$ , когда другие наблюдения в том же опыте могут быть сделаны с точностью до  $1/100$ . Бесполезно делать логарифмические вычисления более чем с четырьмя значащими цифрами, когда наблюдения дают только три значащих цифры.

9. Не оставляйте опыта, если в нем остается еще что-либо, что вам не вполне ясно...

(10-й пункт касался записей дома.)

(11-й — правильности снятия отсчета времени.)

(Что непонятно — спроси у лаборанта, — говорилось в 12-м пункте.)

13. Не заботьтесь, чтобы ваш результат совпадал с ответом. Верьте собственным результатам, пока вы не найдете какой-нибудь ошибки в своей работе...»

Прогрессу обучения практической физике способствовало основанное в 1893 г. Томсоном Кавендишское физическое общество. На заседаниях этого общества обсуждались статьи, готовившиеся к публикации. Такие дискуссии помогали исследователям разрешать некоторые неясности, стимулировали их интерес к исследованиям.

Развитию обучения способствовало также университетское правило, согласно которому с 1896 г. в лабораторию приходили исследователи, окончившие университеты разных стран мира. Появилась возможность сравнивать различные приемы обучения физике, в таком сравнении рождались новые методы работы.

Томсон много внимания уделял развитию мастерских лаборатории, приглашал механиков и обучал их.

В томсоновский период в лаборатории продолжались научные исследования в области электрических стандартов, начатые еще при Максвелле. Однако эта тематика перестала быть ведущей. Основным направлением исследований лаборатории стала физика газового разряда. Рассказ об этих исследованиях мы продолжим в следующей главе.

## ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОНА

Сразу после избрания главой Кавендишской лаборатории Томсон приступил к исследованиям в области газового разряда. Первые эксперименты он выполнял в сотрудничестве со своим учеником и другом Ричардом Трелфоллом, весьма искус-

ным экспериментатором. Исследования в области газового разряда — это главные научные устремления Томсона. Именно в этой области он получил многие выдающиеся результаты как в атомной физике, так и в физике электронов. К этим исследованиям Томсон привлек многих своих учеников, которые, развивая их, сделали открытия огромной важности. По существу, в Кавендишской лаборатории в этом направлении работала выдающаяся школа физиков, руководимая Джозефом Томсоном. И в этих исследованиях Томсон являлся продолжателем дела Фарадея — Максвелла.

Фарадей был одним из первых ученых, исследовавших газовый разряд. Он установил многие важные свойства этого явления. Он писал: «Результаты, связанные с различными явлениями положительного и отрицательного разряда, повлияют на теорию электричества сильнее, чем мы теперь думаем». Максвелл также придавал большое значение изучению газового разряда, говоря: «...Явления электрического разряда чрезвычайно важны, и когда они будут лучше поняты, они прояснят, вероятно, природу электричества».

Эти слова оказались пророческими. Из исследований газового разряда родились важнейшие открытия физики — рентгеновские лучи, радиоактивность, электрон, изотопы. В этой области появилась новая экспериментальная техника — камера Вильсона, масс-спектрометр, электронная трубка и электронная лампа.

Исследованиям газового разряда Томсон отдавал много времени. В книге «Размышления и воспоминания» он писал, что не знал такого времени, когда бы не занимался газовым разрядом.

Для своих исследований Томсон принимает рабочую гипотезу, что прохождение электричества через газ аналогично прохождению его через жидкость, где носителем электричества являются ионы.

Фарадей для объяснения явления электролиза в 1834 г. вводит понятие «атома электричества», Максвелл в своих работах пользуется термином «молекулы электричества». В «Трактате по электричеству и магнетизму» Максвелл писал: «Назовем для краткости постоянный молекулярный заряд молекулой электричества. Это понятие... поможет нам ясно высказать все то, что мы знаем об электролизе». Однако Максвелл не стал развивать идею «молекулярного заряда», считая, что в будущем представления о поле сделают излишними представления о дискретности заряда. Однако Максвелл ошибся. Наука сохранила и развила понятие «атом электричества», и большую роль в сохранении и развитии этого понятия сыграли исследования Дж. Дж. Томсона в области газового разряда.

Томсон считал, что явление прохождения электричества

через газы «более яркое и определенное», чем через жидкости и твердые тела. Здесь легче наблюдать и изучать свойства ионов. Исследования электропроводности газов Томсон обобщил в своей книге «Прохождение электричества через газы», вышедшей в 1903 г. В предисловии к этой книге он писал, что «изучение электрических свойств газов... представляет наиболее обещающее поле исследований природы электричества и строения материи... Мы знаем об ионе гораздо больше, чем мы знаем о незаряженной молекуле».

Следует отметить, что в этой книге Томсон выступает не только как большой ученый, но и как историк науки. Он сообщает в ней о своих предшественниках и о том, что было сделано ими по этому вопросу.

Что же было сделано до Томсона в области изучения газового разряда? История исследований газового разряда тесно связана с историей вакуумной техники. Электрическую искру, производимую электрическими машинами, наблюдали еще в начале XVIII в., но первым ученым, занявшимся детальным изучением газового разряда, был Майкл Фарадей. В 1837—1838 гг. он подробно исследовал различные виды разрядов в газах, изучал разряд при пониженном давлении. Разрежение до десяти миллиметров ртутного столба Фарадей получал при помощи воздушного насоса. Он установил, что «разрежение воздуха удивительно благоприятствует явлениям светящегося разряда». Фарадей открыл темное пространство в светящемся столбе, названное «фарадеевым темным пространством». Оно отделяло синеватое катодное свечение от розоватого анодного.

Дальнейшие успехи в области газового разряда были связаны с улучшением техники откачки воздуха. Математик и физик Юлиус Плюккер (1801—1868), откачивая из трубки газ с помощью насоса, в котором роль поршня выполнял столб ртути, обнаружил в 1858 г. свечение вокруг катода, расширяющееся с увеличением разрежения и заставляющее фосфоресцировать стекло самой трубки вблизи катода. Он также исследовал действие магнита на различные части разряда. Его ученик Иоганн Вильгельм Гитторф (1824—1914) в 1869 г. нашел, что магнитная сила может скручивать это свечение в двойную спираль, а иногда и в кольца. Он также обнаружил, что тела, помещенные в это свечение, отбрасывают отчетливую тень. Физик Эуген Гольдштейн (1850—1930) продолжил эти исследования и открыл многие важные факты. Он назвал это свечение катодными лучами и установил (1876), что они испускаются и распространяются перпендикулярно поверхности катода.

В 1879 г. английский ученый Уильям Крукс (1832—1919) улучшил конструкцию ртутного насоса и получил давление порядка  $10^{-3}$  мм рт. ст. Более высокий вакуум позволил

Круксу широко изучить свойства этих лучей: лучи нагревали фольгу, будучи сфокусированными на нее, оказывали механическое действие. Он назвал катодные лучи «лучистой материей» — веществом, находящимся в особом, четвертом состоянии. Эксперименты Крукса были красивы и убедительны. Они быстро получили широкое распространение и вызвали интерес многих физиков. Интерес Томсона к физике газового разряда был в какой-то степени вызван опытами Крукса.

Исследования катодных лучей сыграли особую роль в открытии электрона. Мы еще к ним вернемся. А сейчас обратимся к существовавшим до Томсона гипотезам о механизме проводимости области газового разряда.

Шарль Кулон (1736—1806) еще в 1775 г. установил, что утечка электричества из заряженного тела, подвешенного на изолированной нити, происходит через воздух. Он предположил, что молекулы воздуха взаимодействуют с заряженным телом, получают от него заряд того же знака, что и тело, отталкиваются от него и уносят заряд. Это объяснение существовало более века — до создания ионной теории проводимости газов.

В 1872 г. немецкий физик Э. Варбург (1846—1931) предположил, что утечка электричества обусловлена частицами пыли, находящимися в воздухе. Это предположение было поддержано экспериментами Гитторфа в 1879 г. Физика газового разряда обязана ему многим. Он первый ввел точные методы измерений в разряде, изучая зависимость между силой тока и напряжением.

Итак, вопрос о механизме проводимости в газах оставался до 80-х годов XIX в. неясным. В 1882 г. немецкий физик В. Гизе (1861—1929), исследуя проводимость в горячих газах и пламени, высказал предположение, что она, так же как и в электролитах, обязана своим происхождением движению ионов. Эта гипотеза, по существу, возрождала идеи Фарадея — Максвелла о связи проводимости в газах с электролитической проводимостью.

А. Шустер в 1884 г. проводил исследования в газоразрядных трубках при пониженном давлении. Не зная работ Гизе, он для объяснения проводимости газов также выдвигает предположение, что молекулы газа вблизи катода диссоциируют на положительные и отрицательные частицы. Эти предположения Шустер выдвинул в Бакерианской лекции 1884 г.<sup>1</sup> Во вступлении к ней он сказал: «Эти теоретические выводы предпочтительны, как я думаю, для тех, кто воспитан на идеях Фарадея и Максвелла. Они всегда считали, что проводимость электричества газами более вероятно имеет сходство с электро-

<sup>1</sup> Ежегодная лекция, читаемая известными физиками и химиками в Лондонском Королевском обществе о своих научных достижениях.

литической проводимостью, нежели с прямым прохождением электричества от одной молекулы к другой».

Ионную теорию проводимости приняли многие физики. Эту теорию принял, как мы знаем, и Дж. Томсон. И он начинает свои исследования с установления механизма образования положительных и отрицательных ионов.

«Я считал,— писал Томсон,— что всякий раз, когда газ проводит электричество, некоторые его молекулы должны расщепляться электрическими силами, действующими на газ, и что они и есть те, которые несут электричество через газ... Моя идея в это время была, что некоторые молекулы расщепляются на два атома, один из которых положительно заряженный, а другой — отрицательно, и моими первыми экспериментами я проверял эту идею».

Следует отметить, что изучение газового разряда было трудным делом. Для того чтобы возникал разряд, надо было прилагать значительные электрические поля или использовать сильно нагретые газы. «В любых случаях,— писал Томсон,— было чрезвычайно сложно получать точные измерения. Результаты были непостоянны, явно зависели от причин, которые очень трудно было устранить». Иногда для получения разряда Томсону приходилось прибегать к очень большому электрическим полям, сила тока в начавшемся разряде была при этом так велика, что расплавлялись части установки.

Возникали трудности и научного плана. Среди них были трудности такого же характера, как и при изучении электролиза. Тогда было неясно, почему даже при незначительных электрических силах (в  $10^9$  раз меньших, чем сила притяжения ионов в молекуле жидкости) молекула жидкости расщеплялась на положительную и отрицательную части.

Для объяснения этого явления прибалтийский ученый Х. Гротгус (1785—1822) в 1805 г. ввел так называемые «цепи», получившие впоследствии его имя. Гротгус предположил, что каждая молекула состоит из положительно и отрицательно заряженных частиц. Под действием электрических сил молекулы выстраиваются цепочками так, что соседние молекулы обращены друг к другу противоположными полюсами. Силы взаимодействия между атомами молекул в цепочке уравновешены, за исключением конечных атомов, а силы взаимодействия между атомами в конце цепочки будут уже малы, так что незначительные электрические силы будут достаточны, чтобы отделить атомы друг от друга.

В 1887 г. шведский ученый Сванте Аррениус (1859—1927) ввел теорию электролитической диссоциации, с появлением которой цепочки Гротгуса стали лишними. Согласно теории Аррениуса, молекула в растворе уже диссоциирована на положительно и отрицательно заряженные частицы, и внешнее электрическое поле только приводит их в движение.

При изучении электропроводности газов было также непонятно, почему внешняя электрическая сила, требующаяся для разложения молекулы газа, хотя и гораздо большая, чем при электролизе, была все же незначительна по сравнению с силой притяжения атомов в молекуле. Как же тогда разделяются положительно и отрицательно заряженные частицы в газах?

Ответ на вопрос пришел к Томсону после многолетних напряженных исследований. Вначале он совместно с Трелфоллом ставит эксперименты по изучению проводимости в азоте и озоне. Результаты этих исследований были опубликованы в 1886 г. в «Трудах Королевского общества». В 1887 г. он публикует работу «О диссоциации некоторых газов электрическим разрядом». Томсон изучает влияние давления и температуры на разряд, определяет скорость распространения светящегося разряда, экспериментирует с сильно нагретыми газами, изучает сопротивление электролитов переменному току высокой частоты, исследует безэлектродный разряд и разряд через перегретый пар.

В 1894 г. Томсон приступил к исследованию катодных лучей. Через год немецкий физик В. Рентген открыл рентгеновские лучи. Он обнаружил в темной комнате, в которой работала трубка Крукса, свечение картона, покрытого флюоресцирующим минералом. Он объяснял это свечением действием X-лучей.

В этой связи интересно отметить, что подобное свечение наблюдал и Томсон, когда он экспериментировал с катодными лучами. И он в своей статье, вышедшей за год до открытия Рентгена, описал «фосфоресценцию обычного немецкого стекла, помещенного на расстоянии нескольких футов от разрядной трубки». Но изучать это явление Томсон не стал.

В 1896 г., в связи с исследованиями X-лучей, А. Беккерель открыл явление радиоактивности. Вот эти два крупнейших открытия в физике могли быть и не были сделаны Томсоном — ученым, который всю жизнь посвятил изучению газового разряда.

Почему же Томсон, увидевший фосфоресценцию стекла, не остановился на изучении этого явления? Дело в том, что в это время Томсон был занят доказательством корпускулярной природы катодных лучей, и он целенаправленно шел к разрешению загадки катодных лучей, к своему открытию. Обнаруженную им фосфоресценцию стекла он считал побочным фактом.

Томсон сразу стал использовать открытия Рентгена и Беккереля в своих исследованиях, и, как он вспоминал, эти открытия позволили производить многие эксперименты, которые до этого были невыполнимы. Вначале Томсон изучал действие рентгеновских лучей на разряд в газе. «К моему великому

восторгу, — писал Томсон о рентгеновских лучах, — они делали газ проводником тока, даже если электрическая сила, приложенная к газу, была чрезвычайно мала... X-лучи, казалось, превращали газ в газообразный электролит». Вскоре из этих опытов были получены важные результаты. Во-первых, Томсон обнаружил, что после прекращения действия лучей проводимость в газе еще сохранялась какое-то время и прекращалась после фильтрования газа через стекловату. Во-вторых, было выяснено, что для фильтрования не обязательно использовать стекловату, вполне достаточно подвергнуть газ действию электрических сил. В-третьих, было найдено нарастание силы тока при малых напряжениях в согласии с законом Ома, при больших напряжениях — отклонение от закона Ома и при некотором большом напряжении — наличие тока насыщения.

Из опытов также следовало, что после прекращения действия лучей в газе еще остаются заряженные частицы, которые и являются носителем тока. О том, что эти частицы отрицательно и положительно заряжены, говорил тот факт, что электрические силы прекращали остаточную проводимость, т. е. отрицательно заряженные частицы осаждались на положительном электроде, а положительные — на отрицательном.

Отклонение от закона Ома при больших напряжениях в газе, как и наличие тока насыщения также убедительно подтверждали ионный механизм проводимости газа. Рассуждения Томсона были следующими. Рентгеновские лучи ионизуют газ в трубке. Когда произойдет электрический разряд, частицы будут двигаться к электродам, отдавая им свои заряды. Сила тока газового разряда пропорциональна числу заряженных частиц, которые ударяют в электроды в 1 с. Когда заряженные частицы производятся лучами, то число рекомбинирующих в 1 с частиц не может быть больше, чем число частиц, созданных лучами в это же время. Тогда сила тока разряда должна иметь предел, пропорциональный интенсивности лучей. Томсон предпринял совместно с Резерфордом измерения этой предельной силы тока, или силы тока насыщения, для определения интенсивности рентгеновских лучей.

Далее Томсон ввел коэффициент рекомбинации. Если  $n_1$  и  $n_2$  — соответственно числа положительных и отрицательных ионов в единице объема газа, то убыль числа заряженных частиц в единицу времени будет равна  $\alpha n_1 n_2$ , где  $\alpha$  — коэффициент рекомбинации, который, по мнению Томсона, может зависеть от давления, температуры и рода газа. Затем он вводит важное понятие подвижности ионов. Ток в газе обусловлен движением частиц и будет зависеть от их скорости. Из молекулярно-кинетической теории следует, что скорость частицы, движущейся через газ при не очень низких давлениях, пропорциональна действующей на нее силе. Частицы увеличи-

вают свою скорость под действием электрической силы  $F$ , равной  $F=eE$ , где  $e$  — заряд частицы,  $E$  — напряженность электрического поля. Скорости положительно и отрицательно заряженных частиц тогда будут  $v_+ = k_1 E$ ,  $v_- = k_2 E$ , где  $k_1, k_2$  — подвижности отрицательно и положительно заряженных ионов. Предполагая, что ток — это движение заряженных частиц, непрерывно производящихся рентгеновскими лучами и движущихся под действием электрических сил к электродам, Томсон считал, что можно найти уравнение, которое выражает зависимость между силой тока в газе и разностью потенциалов между электродами. Эта зависимость, исключая случаи, когда напряжения малы, выражается более сложным образом, чем просто закон Ома. Она включает коэффициент рекомбинации  $\alpha$ , подвижности  $k_1, k_2$  ионов и  $q$  — число ионов, образованных в 1 с.

Итак, вырисовывалась общая картина механизма электропроводности газов, особенно с того времени, когда Томсон стал использовать в качестве ионизатора лучи Рентгена.

Как мы уже говорили, в 1894 г. Томсон занялся изучением катодных лучей. Исследователи до Томсона открыли много важных свойств этих лучей, но еще не был решен главный вопрос — об их природе.

Гольдштейн, как и большинство немецких физиков, придерживался мнения, что катодные лучи — это волны в эфире. Английские ученые Варлей (в 1871 г.), а позже и Крукс (в 1879 г.) отождествляли эти лучи с заряженными частицами, вырывающимися с катода под прямым углом к его поверхности и движущимися с большой скоростью. Эту точку зрения поддерживали и многие другие английские физики. Противниками и сторонниками этих двух теорий ставились многочисленные эксперименты с целью опровергнуть одну и подтвердить другую точку зрения.

Шустер, в основном принявший гипотезу Крукса, в 1884 г. получил отклонение катодных лучей в магнитном поле и нашел способ определения их удельного заряда. Рассуждения его были следующими. Если частица массой  $m$  и зарядом  $e$  движется со скоростью  $v$  перпендикулярно магнитному полю с индукцией  $B$ , то магнитное поле отклоняет эту частицу от прямолинейного движения. На нее действует сила  $F=evB$ , и частица начинает двигаться по круговой орбите радиуса  $r$ .

Тогда  $Bev = \frac{mv^2}{r}$  или  $\frac{e}{m} = \frac{v}{Br}$ . Одного уравнения было мало

для определения  $\frac{e}{m}$ , поскольку была еще неизвестна скорость  $v$ . Для определения скорости Шустер вводит энергетическое уравнение  $Ue = \frac{1}{2}mv^2$ , где  $U$  — разность потенциалов, приложенная к трубке. Шустер определил из этих уравнений

нижний и верхний пределы  $\frac{e}{m}$  и сравнил это значение с подобным для электролиза. И хотя он получил значение  $\frac{e}{m}$  для катодных лучей на два порядка выше, чем подобное значение для атома водорода при электролизе, он не сделал правильных заключений из своих экспериментов и продолжал считать катодные лучи потоком заряженных атомов или молекул газа.

Другая точка зрения активно защищалась Герцем и Ленардом. Известный немецкий физик Генрих Герц поставил несколько экспериментов с целью опровергнуть корпускулярную природу катодных лучей и доказать их волновую природу. Один из его опытов показывал, что катодные лучи могут проникать через тонкие металлические листочки из золота или алюминия, другой говорил о том, что катодные лучи не отклоняются под действием электрического поля (1883). Исследования Герца продолжил в 1893 г. немецкий физик Филипп Ленард (1862—1947). Он сконструировал «окошечко» из тонкой алюминиевой фольги, которым закрыл небольшое отверстие на конце катодной трубки, сохраняя при этом вакуум в трубке, и показал, что катодные лучи можно выводить из трубки наружу. Опыты Герца и Ленарда, казалось, были вескими аргументами против корпускулярной теории катодных лучей. Правда, в 1895 г. был проделан опыт, который сильно поколебал волновую гипотезу.

Французский физик Жан Перрен (1870—1942) поместил внутри разрядной трубки против катода цилиндр, соединенный с электрометром, и определил заряд катодных частиц. Он оказался отрицательным. Чтобы показать, что катодные лучи переносят отрицательный заряд, он отклонял их магнитным полем так, чтобы они не попадали в цилиндр, и снова измерял заряд цилиндра — цилиндр был нейтральным. Следовательно, Перрен установил факт переноса заряда катодными лучами, что было трудно совместить с волновой теорией.

И наконец последовали эксперименты Томсона, которые подтвердили корпускулярную природу катодных лучей (по крайней мере до 1927 г., когда были открыты волновые свойства этих лучей). Томсон повторяет эксперимент Перрена, несколько усовершенствовав его метод, и получает тот же самый результат. Теперь все возражения против метода Перрена были устранены исследованиями Томсона. Было подтверждено, что катодные лучи несут отрицательный заряд. Следующий шаг Томсона — это эксперименты по отклонению катодных лучей электрическим полем. Установка (см. рис.) представляла собой разрядную трубку, внутри которой были укреплены две металлические пластинки, соединенные с полюсами батареи. Пучок лучей пропусклся между этими пластинками и наблюдался на экране трубки. Вначале Томсон

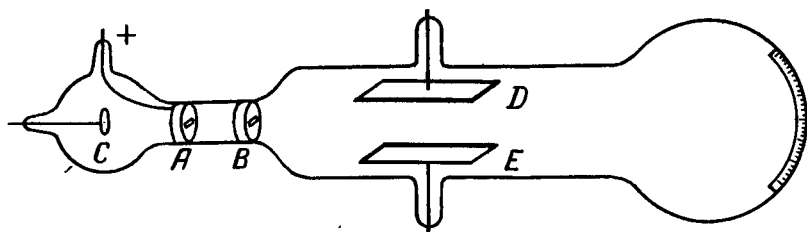


Схема установки Томсона по отклонению катодных лучей в электрическом и магнитном полях

не мог получить отклонения лучей в электрическом поле. Он наблюдал только слабое колебание луча в момент подачи разности потенциалов между пластинами. Томсон объяснил это явление действием катодных лучей на остаточный газ. Если в разрядной трубке оставался газ, то катодные лучи ионизовали его, и положительно заряженная пластинка притягивала отрицательные ионы, а отрицательно заряженная — положительные. Таким образом, заряд пластин нейтрализовался ионизацией остаточного газа. Значит, для получения заметного эффекта отклонения лучей в электрическом поле необходимо было позаботиться о лучшем вакууме. Получение хорошего вакуума было тогда трудным делом. Насосы были несовершенны. Установка Томсона работала, не выключаясь, несколько дней. Был получен достаточно хороший вакуум, и отклонение катодных лучей стало хорошо заметным. Направление их отклонения подтвердило, что катодные лучи представляют собой отрицательно заряженные частицы.

Затем Томсон приступает к определению скорости и удельного заряда этих частиц. Он обобщает опыты Шустера, определявшего  $\frac{e}{m}$  по отклонению катодных частиц в магнитном

поле, используя для определения этого отношения как магнитное, так и электрическое поля. Его установка помещалась в однородное магнитное поле так, что линии магнитной индукции составляли с направлением скорости частиц прямой угол.

Тогда отношение  $\frac{e}{m}$  будет равно  $\frac{e}{m} = \frac{v}{Br}$ . Для определения скорости  $v$  Томсон предлагает следующий метод.

В разрядную трубку он помещает две пластины, между которыми создается электрическое поле, силовые линии которого перпендикулярны линиям магнитной индукции и направлению движения ионов. Сила, действующая на ион со стороны электростатического поля, —  $F_e = Ee$ , а со стороны магнитного —  $F_m = Bev$ . Подбирая такое значение разности потенциалов, при котором  $F_e = F_m$  или  $Ee = Bev$ , можно определить скорость ионов  $v = \frac{E}{B}$ .

Данные экспериментов Томсона показали, что значение  $\frac{e}{m}$  для различных газов, в пределах экспериментальных ошибок, одинаково. Томсон писал, что «постоянство значения  $\frac{e}{m}$  для ионов, составляющих катодные лучи, есть поразительный контраст изменчивости соответствующих величин для ионов, которые несут ток в электролитах... Если мы сравним значение  $\frac{e}{m} = 7,7 \cdot 10^6$  для ионов в катодных лучах с соответствующими величинами для ионов, которые несут ток в электролитах, мы придем к очень интересному значению: наибольшее значение  $\frac{e}{m}$  в случае электролиза будет при водородном ионе, в этом случае  $\frac{e}{m} \approx 10^4$ . Когда мы рассматриваем электрический заряд, несомый ионом в катодных лучах, мы, принимая, что он равен по модулю заряду, несомому водородным ионом при электролизе, заключаем, что масса водородного иона должна быть в 770 раз больше массы иона в катодных лучах; следовательно, носитель отрицательного электричества в этих лучах должен быть очень малым по сравнению с массой водородного атома».

Этот результат ошеломил Томсона, и он предпринимает его тщательное изучение, улучшает методику эксперимента с целью получения более точных значений  $\frac{e}{m}$ , определяет это значение для отрицательных частиц, испускаемых металлами под действием ультрафиолетового света, для частиц, испускаемых нагретыми металлами, и находит его таким же, как и для катодных частиц.

После долгих размышлений Томсон приходит к следующим заключениям:

1) «... атомы не неделимы, отрицательно заряженные частицы могут вылетать из них под действием электрических сил, удара быстро движущихся атомов, ультрафиолетового света или тепла»;

2) «... все эти частицы одинаковой массы и несут одинаковый заряд отрицательного электричества от любого рода атомов, и они являются составной частью всех атомов»;

3) «... масса этих частиц меньше одной тысячной массы атома водорода».

Томсон назвал эти частицы корпускулами. Однако это название не удержалось в науке. По предложению ирландского физика Дж. Стонея, частицу, несущую элементарное количество электричества, стали называть электрон.

Первое сообщение об открытии электрона Томсон сделал 29 апреля 1897 г. на заседании Королевского института, затем

последовала публикация выдержки из этой лекции в журнале «Электричество» 21 мая 1897 г., а более полно она была опубликована в „Philosophical Magazine“ в октябре этого же года.

В этом же году появилась публикация немецкого физика Эмиля Вихерта (1861—1928), в которой приводилось значение удельного заряда катодных частиц, согласующееся с томсоновским. Следует сказать, что результаты исследований Вихерта были опубликованы несколькими месяцами раньше Томсона, и это дало основание для утверждений, что электрон открыл не Томсон, а Вихерт. Но это не совсем правильно. Безусловно, что открытие электрона, как и вообще многие открытия в физике,— это дело не одного человека, а коллектива ученых. Томсон знал об исследованиях Вихерта и считал, что они, как и исследования Шустера, имели существенный недостаток: они определяли удельный заряд только по отклонению катодных лучей в магнитном поле и не делали прямых измерений скорости или энергии частиц в том месте, где измерялось отклонение.

Кроме того, Томсон не ограничивался изучением только катодных лучей и доказал, что электроны испускаются и при фотоэффекте, и при термоэлектрических явлениях, т. е. доказал универсальность электрона. Открытие электрона с недоверием было встречено многими физиками. Последующие исследования Томсона сыграли основную роль в превращении гипотезы об электроне в истину.

Большую роль в утверждении электрона сыграла также замечательная школа физики, организованная Томсоном в Кавендишской лаборатории.

## ШКОЛА ТОМСОНА

В Кавендишской лаборатории Дж. Дж. Томсон создал физическую школу, которая внесла большой вклад в развитие физики.

В большой степени успех коллектива Кавендишской лаборатории был обусловлен влиянием личности Томсона, его умением заразить учеников своей исследовательской программой, творческой обстановкой, царившей в коллективе, демократизмом порядков. В этой деятельности организатора коллективных исследований Томсон является достойным продолжателем дела Максвелла, заложившего фундамент лаборатории.

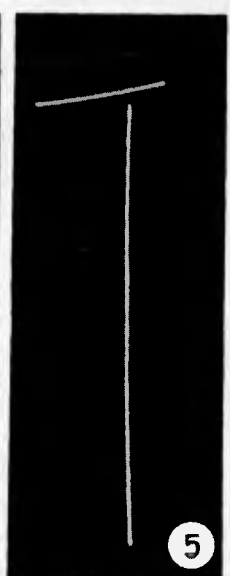
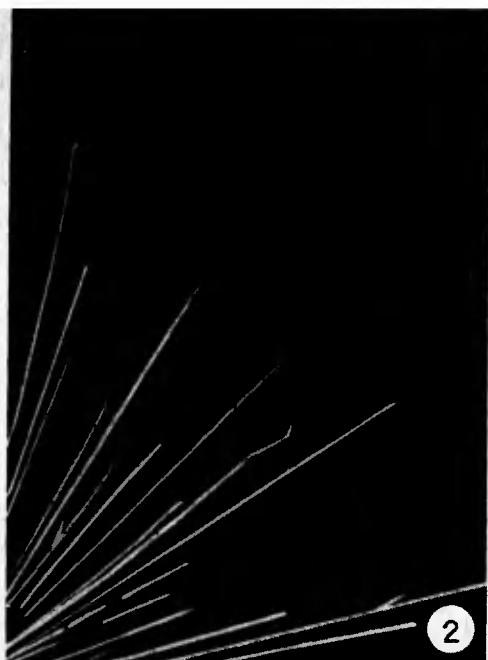
С самого начала своей деятельности в качестве руководителя Кавендишской лаборатории Томсон начал привлекать к исследованиям учеников. Одним из первых был Ричард Трелфолл. Томсон очень высоко отзывался о его умении ста-

вить эксперименты. Совместно с Томсоном Трелфолл опубликовал в «Трудах Королевского общества» две работы по газовой разряде. Несколько совместных исследований Томсон провел с другим своим учеником Франком Неваллом.

Осенью 1895 г. Томсон начинает изучение проводимости в газах, подвергаемых действию рентгеновских лучей. Эти его исследования совпали с важным событием для Кембриджа: университет, благодаря инициативе главы Кавендишской лаборатории, начал прием иностранных студентов из других университетов и колледжей для научных исследований. Специальная комиссия определяла способности кандидатов проводить научные исследования. После двух лет работы в Кембридже они получали ученую степень бакалавра наук и удостоверение исследователя.

Резерфорд писал об этом периоде в истории лаборатории: «Короткий период (1895—1898) — один из наиболее интересных и важных в истории научных исследований в Кавендишской лаборатории. Он замечателен не только числом новых открытий первостепенной важности, но также и началом новых идей о связи электричества и материи, которые так сильно повлияли на уклон исследований в Кавендишской лаборатории в последние десять лет. Эти годы совпадают с периодом необычайной активности в физике, начавшимся экспериментами Ленарда с катодными лучами и открытием X-лучей Рентгеном в 1895 г. Это был особый период... когда новые основы рушились день ото дня и когда открытия следовали в быстрой последовательности. В этом быстром продвижении Кавендишская лаборатория сыграла значительную роль. Среди открытий, сделанных в ее стенах,— окончательное доказательство природы катодных лучей, открытие отрицательной корпускулы или электрона как определенной сущности, экспериментальное доказательство характера электропроводности в газах и первоначальный анализ радиоактивных веществ. Несомненно, что внезапное повышение активности лаборатории в научных исследованиях в большой мере произошло благодаря новой политике университета, когда в университет допускались студенты-исследователи, окончившиеся другие институты...»

Одним из первых студентов-исследователей, пришедших в лабораторию, был шотландец Чарлз Томсон Рис Вильсон (1869—1959), который начал проводить в лаборатории исследования по конденсации воды в очищенных от пыли газах, насыщенных парами воды. Наблюдения Гельмгольца и других ученых показали, что туман, который обычно образуется при небольшом адиабатном расширении влажного пыльного воздуха, исчезает, если очищать воздух от пыли. Таким образом, было установлено, что частицы пыли являются центрами конденсации. Исследования Вильсона показали, что и в очи-



Фотографии трэков Вильсона

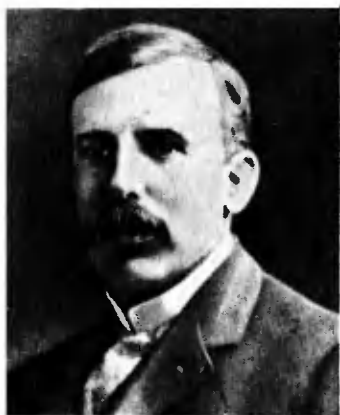
щенном от пыли газе, содержащем ионы, при внезапном расширении будет образовываться туман, если отношение объема газа после расширения к объему до расширения будет равно 1,252. В этом случае центрами конденсации являются отрицательные ионы. Если же соотношение объемов при расширении 1,375, то центрами образования капель становятся положительные ионы. Таким образом, метод Вильсона позволил различать ионы разных знаков.

Эти эксперименты открывали новую возможность исследования свойств ионизованного газа и впоследствии привели Вильсона к созданию замечательного прибора, сыгравшего большую роль в физике атома,— камеры Вильсона. Томсон назвал исследования Вильсона «жизненно важными для прогресса современной физики» и взял их в основу своих экспериментов по определению заряда электрона. Здесь мы видим пример обратной связи, когда исследования ученика дают новые идеи для исследования учителя.

За свои работы Ч. Вильсон был избран в 1900 г. членом Лондонского Королевского общества, а в 1927 г. получил Нобелевскую премию по физике. Закончим наш рассказ о Вильсоне небольшой выдержкой из воспоминаний о нем сына Дж. Дж. Томсона, Паджета Томсона: «Вильсон был великолепным экспериментатором. Соблюдая чисто шотландскую осторожность, он работал очень медленно и сам делал большую часть необходимых приборов. Классическая история, которую рассказывают о нем, правдива если и не буквально, то по духу. Некто Х. распрощался с Вильсоном, шлифовавшим стеклянную пластинку в своей комнате в Кавендише. Спустя три года Х. возвратился; а Вильсон все еще шлифовал пластинку. «Верно,— ответил Вильсон, когда ему рассказали об этом,— но это была уже другая пластинка...» Вильсон принадлежал к числу наихудших лекторов в мире, но был прекрасным учителем для одного ученика, и за это у меня есть достаточные основания благодарить его...»

В октябре 1895 г. в лаборатории начал свою исследовательскую работу Эрнест Резерфорд (1871—1937). До приезда в Кембридж Резерфорд не встречался с Томсоном. Он, конечно, хорошо знал научные труды Томсона, использовал в своих первых исследованиях результаты некоторых экспериментов прославленного профессора и представлял его важным и старомодным человеком. Но первая же встреча с руководителем Кавендишской лаборатории поразила Резерфорда своей теплотой и сердечностью. О своем впечатлении от этой встречи Резерфорд написал своей невесте: «Томсон очень приятен в разговоре и отнюдь не допотопный ученый... Я очень доволен, что приехал в Кембридж... Томсон восхитителен».

Резерфорд пришел в лабораторию со своей темой по вопросам телеграфии без проводов, начатой еще в Новой Зелан-



Эрнест Резерфорд

дии. Томсон в это время занимался исследованием электропроводности газов под действием недавно открытых рентгеновских лучей. Он был очень заинтересован этой проблемой и посвящал разрешению ее большую часть своего времени. Однако он не забывал и о своем новом ученике, интересовался его работой, предоставил Резерфорду возможность выступить с сообщением о ходе его исследований в Кембриджском физическом обществе, на собрании Британской ассоциации содействия развитию науки и в Королевском обществе, помог и в публикации работы, которая под назва-

нием «Магнитный детектор электрических волн и некоторые его применения» была опубликована в 1897 г.

В 1896 г. на собрании Британской ассоциации Резерфорд познакомился с результатами исследований итальянского ученого Гульельмо Маркони (1874—1937), которому удалось уловить электрические сигналы на расстоянии, вдвое превышавшем расстояние, на котором принимал сигналы Резерфорд. (Об опытах нашего замечательного русского ученого Александра Степановича Попова (1859—1906), опередившего и Маркони, и Резерфорда в деле приема электрических сигналов на расстоянии без проводов, Резерфорд, по-видимому, ничего не знал. Попов впервые демонстрировал свой радиоприемник на заседании Русского физико-химического общества 7 мая 1895 г., а через год опубликовал результаты своего открытия в журнале этого общества.) Узнав об исследованиях Маркони, Резерфорд прекратил дальнейшие эксперименты со своим детектором. Его заинтересовали исследования Томсона по электропроводности газов под действием рентгеновских лучей. Сам профессор оценил дарование своего молодого ученика и предложил Резерфорду провести совместное изучение явления ионизации газов под действием рентгеновских лучей. Это было в марте 1896 г., а уже в ноябре появилась статья, в которой приводились результаты совместных исследований Томсона и Резерфорда.

В 1897 г. Резерфорд опубликовал результаты самостоятельного исследования по этой теме. В этой работе он подтвердил предположение Томсона о том, что скорость рекомбинации ионов пропорциональна квадрату их числа. Для проверки этого соотношения Резерфордом были разработаны два метода. Один использовался для большого количества газа,

а другой — для малого. Результаты, полученные им, хорошо согласовывались с соотношением Томсона. Резерфорд вычислил коэффициент рекомбинации для различных газов и суммарные подвижности ионов разного знака при атмосферном давлении. Значения, полученные им для суммарной подвижности ионов, были использованы Томсоном в его исследованиях по определению заряда электрона.

В 1898 г. Резерфорд показал, что скорость отрицательных частиц, вырываемых с поверхности металлической пластинки светом, была одинаковой со скоростью отрицательных ионов, производимых рентгеновскими лучами. Из этого он заключил, что массы ионов, образующихся под действием различных ионизаторов, одинаковы.

В последующих экспериментах Томсон показал, что с поверхности металла под действием ультрафиолетового света вырываются электроны.

После исследований с ультрафиолетовыми лучами Резерфорд обратился к экспериментам с радиоактивным излучением. В 1899 г. он опубликовал работу, содержащую результаты экспериментов по изучению излучения урана и его соединений. Интенсивность радиоактивного излучения он измерял по ионизации, производимой этим излучением. Таким образом, вступление в область радиоактивности было для него естественным продолжением исследований ионизирующих действий рентгеновских лучей, проведенных совместно с Томсоном. В ходе этих исследований он показал, что уран и его соединения испускают два рода лучей; один, легко поглощаемый несколькими миллиметрами воздуха при атмосферном давлении, он назвал  $\alpha$ -лучами, а второй, сильно проникающий, —  $\beta$ -лучами<sup>1</sup>. Эти исследования стали основными в его жизни. Начатые в Кавендишской лаборатории, они были продолжены в стенах Мак-Гиллского, а затем Манчестерского университета.

Итак, за годы пребывания в Кембридже Резерфорд под руководством Томсона вырос в крупного ученого, получил известность в широких научных кругах.

В 1898 г. Резерфорд получил приглашение в Монреальский университет в Канаде на должность профессора кафедры теоретической физики. Заметим, что до него этой кафедрой руководил один из первых учеников Томсона — Х. Каллендар. Рекомендуя Резерфорда на эту должность, Томсон писал: «У меня никогда не было молодого ученого с такими... способностями к оригинальным исследованиям, как г-н Резерфорд, и я уверен, что если он будет избран, он создаст выдающуюся школу физики... Я считал бы счастливым то учреж-

---

<sup>1</sup> Через год французский ученый Поль Виллар (1860—1934) открыл третий тип излучения урана —  $\gamma$ -лучи.

дение, которое закрепило бы за собой Резерфорда в качестве профессора физики».

Слова Томсона оказались пророческими. Резерфорд в Монреале объединил вокруг себя талантливую молодежь, создал выдающуюся школу физики в Манчестере.

В 1919 г. Резерфорд заменил Томсона на посту руководителя лаборатории, и школа физики Томсона получила дальнейшее развитие под его руководством. Исследования Резерфорда приобрели мировое признание, и имя его навсегда вошло в историю физики. Он был членом многих академий, в том числе и советской. В 1908 г. ему была присуждена Нобелевская премия по химии.

Ценный вклад в изучение явления прохождения электричества через газы и в определение заряда иона внес ученик Томсона — Джон Таунсенд из Ирландии (1868—1957). В 1897 г. он доложил на заседании Кембриджского философского общества о своем методе определения заряда иона. Его метод основывался на явлении электризации химическим действием.

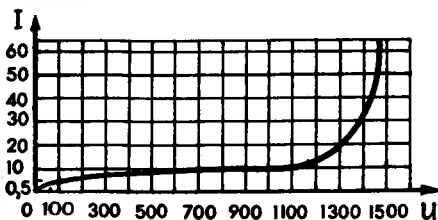
Таунсенд определил, что при электролизе серной кислоты выделяются водород и кислород, заряженные положительно, а при электролизе гидроокиси калия они несут отрицательный заряд.

Уже в первых экспериментах Таунсенд нашел, что для положительных и отрицательных ионов заряд в пределах ошибки был одинаков и равнялся  $3 \cdot 10^{-10}$  абсолютных единиц заряда.

Метод Таунсенда послужил источником идей для других способов измерений заряда ионов. Значение заряда ионов, полученное Таунсендом, служило убедительным доказательством реальности электрона.

Много сделал Таунсенд и в деле изучения газового разряда. Он определял важные характеристики разряда — коэффициент рекомбинации и коэффициент диффузии ионов. Провел измерения зависимости силы тока от напряжения в газовом разряде.

Кривая этой зависимости хорошо известна и подтверждает заключение Томсона, согласно которому ток проводимости при малых напряжениях следует закону Ома, а при больших — нет.



Кривая Таунсенда

Исследованиями в области газового разряда Таунсенд занимался всю жизнь. В 1903 г. он был избран членом Лондонского Королевского общества.

Ценный вклад в изуче-

ние проводимости в газах также внесли ученики Томсона — американский ученый П. Зелени и французский — П. Ланжевен.

Первое исследование, проведенное в Кавендишской лаборатории П. Ланжевеном, относилось к изучению явления ионизации под действием рентгеновских лучей. Исследованиями в области газового разряда Ланжевен начал заниматься еще до прихода в Кембридж, в Высшей нормальной школе в Париже под руководством Перрена. Но именно в Кембридже, под влиянием Томсона и его учеников, исследования в области ионизации стали для него основными. В этой области он получил ряд очень важных результатов, которые способствовали развитию этого направления. Своими экспериментами он доказал существование вторичного рентгеновского излучения.

Как уже говорилось, сразу после открытия рентгеновских лучей Томсон взялся за их исследование. Он вместе с Резерфордом показал, что рентгеновские лучи ионизуют газ. Томсон также принимается за теоретические и экспериментальные исследования природы этих лучей.

Природу рентгеновских лучей было трудно установить. Они не отклонялись ни в электрическом, ни в магнитном полях, не интерферировали, не преломлялись, не поляризовались, т. е. не обнаруживали ни волновых, ни корпускулярных свойств.

Стокс высказал предположение, что эти лучи являются слабыми импульсами, возникающими в момент остановки заряженных частиц, распространяющимися как сферические волны со скоростью света. Томсон в лаборатории предпринял тщательную теоретическую проверку характера стоковых импульсов. Результаты этих исследований были опубликованы в 1898 г. В статье было показано, что остановка заряженных частиц — причина появления слабых импульсов. Более резкая остановка заряженных частиц — причина появления более тонких и проникающих импульсов (так называемых жестких лучей). Объясняя факт, что при действии рентгеновских лучей ионизуется только биллионная часть молекул газа, Томсон приходит к представлению о зернистой структуре волнового фронта рентгеновских лучей, в котором места с активной энергией чередуются с местами нулевой интенсивности. В этой замечательной идее зернистой (или, как мы сейчас сказали бы, корпускулярной) структуры рентгеновского излучения содержалось начало концепции «игольчатого излучения» Эйнштейна. Он развил эту идею Томсона и, в частности, применил ее для объяснения явления фотоэффекта.

Томсон применил импульсную теорию к объяснению вторичного излучения, которое появляется всегда, когда рентгеновские лучи падают на вещество. Когда импульс излучения



Поль Ланжевен

падает на вещество, электроны в атомах вещества приходят в ускоренное движение и при этом излучают энергию (вторичное излучение). Ланжевен занялся экспериментальной проверкой этого вопроса в Кавендишской лаборатории.

Кроме исследований вторичного излучения, Ланжевен в лаборатории предпринял ряд экспериментов по определению подвижности ионов, коэффициента рекомбинации и т. д. Все эти исследования и были продолжены им в лаборатории Сорбонны и легли в основу его докторской диссертации, защищенной в 1902 г.

С Томсоном Ланжевен поддерживал связь до конца жизни.

Экспериментами со вторичным рентгеновским излучением занялся в лаборатории и английский физик ученик Томсона — Чарлз Баркла (1877—1944). В ходе этих исследований, продолженных в Ливерпуле, он показал, что когда первичные рентгеновские лучи падали на газ, возникали вторичные лучи, интенсивность которых при одинаковых давлениях была пропорциональна плотности газа и не зависела от природы первичных лучей. В 1904 г. Баркла обнаружил поляризацию вторичного излучения. Это открытие подтвердило предсказание Томсона, что рентгеновские лучи — «весьма тонкие пульсации интенсивной электрической и магнитной силы».

В 1906 г. Баркла открыл характеристическое излучение<sup>1</sup>, которое образовывало линейчатый спектр, распадающийся на серии. За открытие характеристических лучей он был в 1917 г. удостоен Нобелевской премии.

Таким образом, продолжая исследования, начатые в Кавендишской лаборатории под руководством Томсона, проверяя теорию рентгеновского излучения, Баркла достиг результатов, имеющих большую важность как для объяснения природы этих лучей, так и для развития атомной физики.

Закончим наше повествование об учениках Томсона рассказом еще об одном лауреате Нобелевской премии — Оуэне Ричардсоне (1879—1959), максвелловском стипендиате, проработавшем в лаборатории 6 лет, до 1906 г. В лаборатории он занялся изучением термоэлектронной эмиссии. Эти исследова-

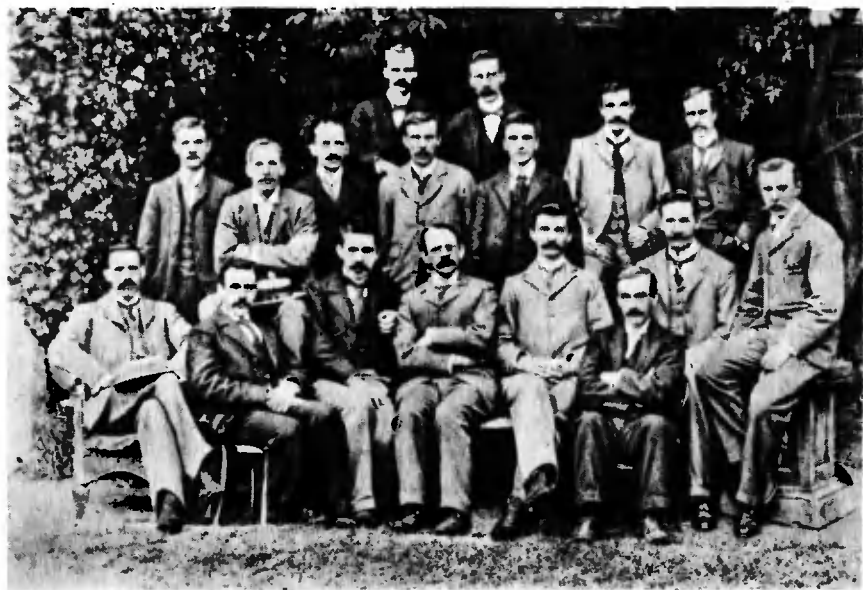
<sup>1</sup> Характеристическое излучение возникает при бомбардировке анода электронами. Оно имеет определенную длину волны, характерную для вещества анода.

ния были продолжены им в Принстонском университете в США. Прибор Ричардсона для этих исследований представлял собой по существу одну из первых электронных ламп. В ходе своих исследований Ричардсон получил формулу, связывающую силу тока насыщения и абсолютную температуру. Кроме исследований термоэлектронной эмиссии, в лаборатории он занимался изучением рекомбинации ионов.

Мы рассказали лишь о нескольких учениках Томсона. У него учились многие исследователи из различных стран мира, в том числе русские — В. А. Бородовский, Г. А. Бродский, Н. Д. Папалекси и др. У него начинал карьеру ученого датчанин Н. Бор. Учениками Томсона были англичане Ф. Астон и Г. Брэгг, лауреаты Нобелевской премии.

Школа Томсона сыграла большую роль в развитии физики. Только за 5 лет, с 1895 по 1900 г., учеными лаборатории было опубликовано 104 статьи в области электропроводности газов. А. К. Тимирязев назвал исследования Томсона и его учеников в области проводимости газов лучшим образцом экспериментальных исследований в физике. Г. Лоренц считал исследования школы Томсона великолепными.

Исследования Кавендишской школы многое дали для утверждения электрона и экспериментального доказательства характера проводимости в газах, для раскрытия природы рентгеновских лучей и первоначального анализа радиоактивных веществ. Из исследований Томсона и его учеников роди-



Томсон среди докторантов

лись важные технические открытия: катодный осциллограф, электронная лампа, камера Вильсона, масс-спектрометр, которые и сегодня играют огромную роль как в технике, так и в науке. Исследования Кавендишской школы внесли фундаментальный вклад в физику электронов и атомную физику.

Молодые ученые многому учились у своего учителя, руководителя и организатора Кавендишской школы физики. В свою очередь Томсон, как истинный учитель, многому учился у своих учеников. Он никогда не подавлял своим авторитетом инициативы учеников, хотя темы для исследований подбирал в основном сам, учил ясному пониманию исследуемого вопроса, учил мыслить физически, умело пользуясь математикой.

Томсон встречался со своими учениками не только в лаборатории и на заседаниях Кавендишского общества, но и на спортивных состязаниях, и за чаем. Эти встречи помогали лучше узнать друг друга, содействовали сплочению всех работающих в лаборатории. Единению способствовали также его личные черты — простота, скромность, трудолюбие и демократичность. Для студентов он был старшим товарищем, у которого всегда можно было найти совет и помощь.

Итак, большая исследовательская программа в области газового разряда, умело распределенная учителем среди своих учеников, огромная научная репутация Томсона, педагогическое мастерство, организаторский талант, его личные качества — все это служило успеху Кавендишской школы физики.

## **ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕОРИЯ ПРОВОДИМОСТИ МЕТАЛЛОВ**

Исследования Томсона и его учеников раскрыли характер электропроводности газов и убедили физиков в реальности электрона. Он начинает фигурировать во многих физических построениях ученых. Появилась и электронная теория, объясняющая проводимость металлов.

Истоки этой теории мы находим еще до открытия электрона. Так, Вебер в ряде работ, вышедших в 60-х годах прошлого столетия, представлял электрический ток в проводнике как движение положительных и отрицательных ионов. В более поздних работах он высказал мнение, что электропроводность обусловлена движением положительных ионов. Его теория электропроводности в металлах предполагала перенос вещества, и это было ее главным недостатком, поскольку, как показывал опыт, электропроводность в металлах не сопровождалась переносом вещества.

Изучение электропроводности в газах, установление в них ионного механизма проводимости, не обязательно приводящего к переносу вещества, послужило дальнейшим толчком к раскрытию природы проводимости в металлах. В 1889 г. Гизе предположил, что проводимость металлов носит ионный характер. Он считал, что в металлах атомы «связаны до известной степени с определенными местами, электричество переносится обменом ионами... так что не происходит соответствующего переноса материальных частиц». Предположение Гизе явилось следующей ступенью в раскрытии механизма проводимости металлов.

Создание электронной теории Хендриком Лоренцем (1853—1928), открытие электрона, доказательство его универсальности — все это дало основу для дальнейшего продвижения в решении этого вопроса. В 1898 г. профессор Геттингенского университета Карл Рикке (1845—1915) предположил, что электропроводность металлов обусловлена упорядоченным движением положительных и отрицательных частиц под действием внешних электрических сил. Следуя Томсону, Рикке считал отрицательные частицы одинаковыми для различных металлов. Заметим, что он еще определенно не отождествлял отрицательные частицы с электронами. Свою теорию Рикке пытался применить для объяснения термоэлектрических явлений.

Рикке также поставил эксперимент с целью проверки, переносится ли вещество металла при движении этих частиц. Он в течение года пропускал электрический ток порядка 10 А через цепь, составленную из цилиндров различных металлов. Никакого переноса вещества он не обнаружил.

Дальнейшее развитие теория электропроводности металлов получила в работах немецкого физика Пауля Друде (1863—1906) и Дж. Дж. Томсона. По существу, этих двух ученых можно считать основателями классической электронной теории проводимости металлов. Теории Томсона и Друде были опубликованы в 1900 г. и имели много общих черт. Основное различие этих теорий заключалось в том, что у Друде переносчиками электричества наряду с электронами были и положительные частицы, а у Томсона носителями тока являлись только электроны.

Впервые свою теорию Томсон изложил в докладе, прочитанном на конгрессе физиков в Париже в 1900 г. Позже она была опубликована в книге «Корпускулярная теория материи». В ней он писал: «Согласно корпускулярной теории электропроводности прохождение электрического тока через металл обуславливается отрицательно заряженными корпускулами, которые несутся в направлении, противоположном току... Прохождение тока через металл не сопряжено с каким-либо переносом атомов вместе с током: исследователи часто

искали следы такого рода переноса, но ни разу их не обнаружили...»

Томсон предложил две теории для объяснения электропроводности металлов. Согласно его первой теории, в металлическом проводнике находится большое число электронов, рассеянных по всему его объему. Электроны могут свободно двигаться между атомами металла. Они могут сталкиваться как между собой, так и с атомами металла. Столкновения свободных электронов подчинялись у Томсона законам молекулярно-кинетической теории. Средняя кинетическая энергия электронов не зависела ни от давления, ни от природы газа, а определялась только абсолютной температурой

$\frac{m\bar{u}^2}{2} = \alpha T$ , где  $\alpha$  — универсальная постоянная,  $\bar{u}$  — скорость беспорядочного движения электронов. В отсутствие электрического поля тока в проводнике нет, поскольку движение электронов в металле носит беспорядочный характер и не имеет преимущественного направления. Под действием электрического поля электроны начинают двигаться упорядоченно в направлении, противоположном направлению напряженности электрического поля, — возникает электрический ток. Далее Томсон предполагает, что при столкновениях электрона с атомами металла или с другими электронами скорость его упорядоченного движения падает до нуля. После столкновения эта скорость под действием электрического поля равномерно нарастает до  $\frac{Eet}{m}$  в конце движения.

Это выражение легко получить, если вспомнить, что для равноускоренного движения  $v = v_0 + at$ ; поскольку  $v_0 = 0$ , то  $v = at$ . Из второго закона Ньютона  $a = \frac{F}{m} = \frac{Ee}{m}$ . Подставляя

последнее выражение в формулу скорости, получим  $v = \frac{Eet}{m}$ , где  $E$  — напряженность электрического поля,  $t$  — время между столкновениями. Средняя скорость электрона будет  $\bar{v} = \frac{1}{2} \frac{Eet}{m}$ .

Английский физик Джеймс Джинс (1877—1946) показал, что при столкновениях скорость электронов не падает до нуля. Чтобы учесть эту остаточную скорость, Томсон вводит в свою теорию коэффициент  $\beta$ , который он полагал несколько большим единицы. Средняя скорость упорядоченного движения электронов с учетом этого коэффициента будет  $\bar{v} = \frac{1}{2} \frac{\beta Eet}{m}$ .

Время между столкновениями Томсон определял из отношения средней длины свободного пробега электронов к их средней скорости беспорядочного (теплого) движения:  $t = \frac{l}{\bar{u}}$ .

Учитывая, что плотность тока  $j = n\bar{v}e$ , где  $n$  — концентрация

свободных электронов в объеме проводника,  $v$  — скорость упорядоченного движения электронов,  $e$  — заряд, Томсон получил выражение закона Ома:

$$j = \frac{1}{2} \frac{ne^2 \bar{l}}{m\bar{u}} E.$$

Томсон провел сравнение электропроводности металлов с их теплопроводностью. Из молекулярно-кинетической теории газов известно, что коэффициент теплопроводности

$$\lambda = \frac{1}{3} n \bar{l} \bar{u} \alpha. \quad (1)$$

В выражении закона Ома  $\frac{1}{2} \frac{ne^2 \bar{l}}{m\bar{u}}$  — коэффициент электропроводности  $\delta$ . Учитывая, что  $\frac{m\bar{u}^2}{2} = \alpha T$ , можно выражение для коэффициента электропроводности представить в виде

$$\delta = \frac{1}{4} \frac{ne^2 \bar{l} \bar{u}}{\alpha T}. \quad (2)$$

Разделив выражение 2 на выражение 1, получим  $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{3}{4} \frac{e^2}{\alpha^2 T}$ , где  $\alpha$ ,  $e$  — величины постоянные, не зависящие от природы металла. Это позволило Томсону сделать вывод, что «отношение электропроводности к теплопроводности для всех металлов есть величина постоянная, обратно пропорциональная абсолютной температуре металла». Эта формулировка соответствует закону, установленному опытным путем в 1853 г. немецкими физиками Г. Видеманом и Р. Францем.

Опытная проверка значений отношения коэффициентов электропроводности и теплопроводности, предпринятая рядом ученых, показала хорошее согласие теоретических и экспериментальных результатов для многих металлов. Это было большим успехом электронной теории проводимости металлов.

Правда, дальнейшие проверки отношения  $\frac{\delta}{\lambda}$  для ряда металлов и особенно сплавов показали ограниченность применения закона Видемана — Франца и, следовательно, электронной теории.

Томсон применил свою теорию для объяснения ряда известных в физике эффектов — эффекта Пельтье, У. Томсона, Холла. Француз Жан Пельтье (1785—1845), часовщик по специальности, оставивший часовое дело ради занятий наукой, обнаружил в 1834 г., что в месте контакта двух различных проводников происходит поглощение или выделение теплоты

в зависимости от направления тока. Томсон дает следующее объяснение этому термоэлектрическому явлению.

Пусть соприкасаются два металла *A* и *B*, имеющие одну и ту же температуру и различное давление «электронного газа», в *A* большее, чем в *B*. Тогда электроны будут перетекать из металла *A* в металл *B*. Проводник *B* будет заряжаться отрицательным электричеством, а проводник *A* — положительным. Положительный заряд проводника *A* будет притягивать электроны и затруднять их движение к металлу *B*. Переход электронов от *A* к *B* прекратится, когда действие сил притяжения металла *A* и сил отталкивания металла *B* уравновесят действие разности давлений. Положительный заряд в металле *A* и отрицательный в металле *B* концентрируются у самой границы поверхности раздела и создают разность потенциалов, которая называется термоэлектрической разностью потенциалов или эффектом Пельтье.

Томсон писал: «По интенсивности явления Пельтье при сочетании одного какого-нибудь металла поочередно со всеми прочими металлами мы можем найти отношения числа корпускул в каждом из этих металлов к числу корпускул в исходном металле. Поступая таким образом, мы можем найти отношение свободных путей корпускул в различных металлах, потому что при одной и той же температуре проводимость металла пропорциональна произведению числа корпускул в единице объема и свободного пути корпускулы в металле; вместе с тем мы можем узнать, совместимы ли вычисленные таким образом свободные пути с другими свойствами металлов. Такое сравнение приводит, однако, по моему мнению, к заключению, что предполагаемый нами механизм прохождения механического тока в проводнике является в лучшем случае лишь частью процесса электропроводности металлов, но не исчерпывает его».

Так, при плавлении электропроводность некоторых металлов сильно менялась. Электропроводность олова, цинка, свинца в твердой фазе была в два раза больше, чем в жидкой. Она зависела от числа электронов в единице объема и их средней длины свободного пробега. Длина свободного пробега электронов в твердой фазе была меньше, чем в жидкой (металлы при плавлении расширяются), а так как электропроводность в твердой фазе в два раза больше, то концентрация электронов в твердой фазе должна быть больше их концентрации в жидкой фазе более чем в два раза. Этому должен соответствовать заметный эффект Пельтье. Однако экспериментаторы не смогли заметить какого-либо эффекта. Это противоречие электронной теории Томсона объяснить не смогла. Из предыдущей цитаты мы видим, что Томсон прекрасно осознавал несовершенство своей теории.

Недостатки ее проявлялись не только при объяснении

эффекта Пельтье. Большие трудности встретила электронная теория и при объяснении явления Холла. Американский физик Эдвин Холл (1855—1938) в 1879 г. открыл явление, заключающееся в возникновении в проводнике с током, помещенном в магнитное поле, электрического поля, перпендикулярного к направлению тока и магнитному полю. При попытке объяснения этого явления возникал вопрос: почему вектор напряженности электрического поля был для одних металлов положительный, для других — отрицательный? Друде обходил это затруднение, предполагая наличие положительных и отрицательных носителей тока в металлах. В одних металлах, по его мнению, преобладали отрицательные носители, а в других — положительные. Эффект Холла он объяснял действием силы Лоренца на носители тока, а знак эффекта зависел от знака частиц, осуществляющих электропроводность.

Томсон не мог принять теорию Друде, поскольку он был сторонником электронной проводимости в металлах. В случае нормального эффекта Холла Томсон давал такое же объяснение, как и Друде, но для объяснения аномального явления Холла Томсон вводил в свою теорию дополнительные условия.

Недостатки классической электронной теории Томсон видел и в объяснении теплоемкости металлов. В «Корпускулярной теории вещества» он прямо указывал на противоречие своей теории с опытами. Согласно его подсчетам, значение теплоемкости только свободных электронов в 10 раз превышает значение, которое дает эксперимент для теплоемкости металла, т. е. получается, что свободные электроны не дают вклада в теплоемкость вещества.

Недостатки электронной теории Томсон пытался устранить созданием второй теории электропроводности металлов. Согласно этой теории, электроны не находятся в свободном состоянии в металле, а отрываются от атомов металла в результате взаимодействия атомов. В этой теории он вновь обращается к идее Гротгуса, выдвинутой для объяснения электролиза. В металле находится большое число «двойников», составленных из положительно и отрицательно заряженных атомов. Электрон покидает отрицательный атом «двойника» и переходит в положительный атом соседнего «двойника». Под действием электрического поля эти «двойники» располагаются в виде цепочки Гротгуса, и электроны переходят вдоль этой цепочки от одного атома к другому, т. е. наблюдается электрический ток.

Томсон применяет свою вторую теорию к объяснению теплопроводности, теплового излучения металлов, эффекта Холла, Пельтье, У. Томсона и заключает, что «согласование результатов опыта с данными второй теории по меньшей мере

не хуже, чем и в первой теории... При современном состоянии наших знаний мы не можем сказать, какая из этих теорий лучше согласуется с фактами...».

Вторая теория Томсона не освободила классическую электронную теорию от недостатков. Не устранила несовершенства электронной теории электропроводности металлов и теория, предложенная в 1905 г. Лоренцем. Затруднения этой теории были сняты квантовой теорией проводимости. Но это не означает, что квантовая теория отменила классическую. Она скорее обозначила границы применимости классической электронной теории. Классическая электронная теория и сейчас играет важную роль в физике. Она позволяет во многих случаях получить быстрые и наглядные результаты, причем не только качественные, но и количественные. На основе этой теории создаются электронные и ионные приборы, ускорители заряженных частиц и др.

## ЛУЧИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Трудами Томсона и его учеников в Кембридже было сделано многое в деле раскрытия природы отрицательного электричества. Было выяснено, что оно состоит из мельчайших частиц — «атомов» электричества. Эти частицы получили название «электроны». Они были в 1700 раз легче самого легкого атома — водорода и радиус их был порядка  $10^{-13}$  см; скорость электронов приближалась в некоторых случаях к скорости света, масса их зависела от скорости. Были сделаны первые измерения заряда электрона. Появилась электронная теория проводимости металлов и корпускулярная теория строения материи. Так что об отрицательном электричестве было уже известно многое, в то время как о положительном было известно мало.

Томсон задавался вопросами: имеет ли положительное электричество атомарное строение? Состоит ли оно из таких же маленьких частиц, как электроны, но несущих положительный заряд?<sup>1</sup> Будут ли они всегда оставаться неизменными, как и электроны, независимо от способа их получения?

В 1906 г. Томсон начинает изучение положительного электричества с целью пролить свет на природу носителей этого электричества. Объектом его исследований стали лучи, открытые в 1885 г. Гольдштейном.

Катодные лучи, представляющие собой поток электронов,

---

<sup>1</sup> Положительные электроны — позитроны — были открыты в 1932 г. американским физиком Карлом Андерсоном (род. в 1905 г.).

двигаются от катода трубки. Гольдштейн, используя катод с высверленным в нем каналом, заметил лучи, устремлявшиеся от анода через этот канал за катод. Он назвал их канальовыми. Томсон считал, что это название неудачное, и предложил называть эти лучи лучами положительного электричества. Они отличались от катодных по более слабому отклонению в магнитном поле. В газоразрядной трубке, наполненной неоном, цвет положительных лучей был ярко-красным, в то время как катодные лучи давали бледно-голубую окраску. Положительные лучи, так же как и катодные лучи, распространялись прямолинейно. Они также вызывали фосфоресценцию стекла.

Томсон тщательно исследовал фосфоресценцию, производимую положительными лучами, и нашел, что она отличалась от фосфоресценции, производимой катодными лучами, по окраске и яркости.

Отклонение этих лучей в магнитном поле впервые получил в 1898 г. немецкий физик Вильгельм Вин (1864—1928). Он нашел, что это отклонение противоположно отклонению катодных лучей. Следовательно, частицы, составляющие эти лучи, несли положительный заряд. Вин изучал действие на положительные лучи электрического поля. Исследуя отклонения этих лучей в электрическом и магнитном полях, он определил их удельный заряд. Его данные показывали, что масса частиц, составляющих положительные лучи, была больше, чем масса катодных частиц. Для газоразрядных трубок, наполненных небольшим количеством водорода, значение  $\frac{e}{m}$  для положительных лучей было близко к такому же значению для ионов водорода при электролизе.

Однако природа этих лучей была еще неясной, неясным оставался и вопрос о механизме их образования.

Установка, с которой Томсон начал исследования положительного электричества, представляла собой газоразрядную трубку с плоским экраном. Катод был просверлен, и в отверстие вставлена тонкая трубка. Узкий пучок положительных лучей, выходящих из этой трубки, пропускаться между двумя латунными пластинками. В пространстве между ними создавались электрические и магнитные поля, перпендикулярные пластинкам.

Положительные лучи отклонялись от прямолинейного пути, и на экране газоразрядной трубки Томсон наблюдал параболы. Томсон установил, что действие положительных лучей зависело от давления газа в трубке. Вначале, для не очень низкого давления водорода в трубке, Томсон получил на экране изображение двух слабо отклоненных пучков. Значение  $\frac{e}{m}$  для наиболее отклоненного пучка равнялось  $10^4$  абсолютных

единиц, для второго это значение было  $5 \cdot 10^3$ . Они соответствовали значениям  $\frac{e}{m}$  для атома и молекулы водорода.

Если в трубку вводился гелий, на экране появлялось изображение трех пучков. Значения  $\frac{e}{m}$  для этих пучков были  $10^4$ ,  $5 \cdot 10^3$ ,  $2,5 \cdot 10^3$ . Эти значения показывали, что пучки принадлежали атому и молекуле водорода и еще атому гелия. Томсон говорил, что этот результат был очень важен, поскольку он явился первым доказательством того, что в состав положительных лучей входят не только атомы и молекулы водорода.

В это время в Кавендишскую лабораторию поступила установка для производства жидкого воздуха. Сразу стало возможным использование метода Дьюара для создания в газоразрядной трубке более высокого вакуума. Этот метод заключался в поглощении газа древесным углем, охлаждаемым жидким воздухом. Этим методом Томсон получал низкое давление, при котором ему удавалось всесторонне изучать положительные лучи. Эти исследования были сопряжены со значительными трудностями, которые Томсон шаг за шагом преодолевал. Так, при низких давлениях в трубках с металлическим катодом была большая опасность разрыва трубок. Томсон нашел способ предотвращать разрыв, покрывая катод тонким слоем кальция или жидким сплавом натрия и калия.

При низких давлениях в трубках, содержащих водород, прямые пучки почти полностью исчезали и на экране появлялись изображения двух парабол, принадлежащих атому и молекуле водорода. Томсон впускал в газоразрядную трубку различные газы, не содержащие водород, и всегда находил те же параболы, что для водорода или гелия. Это привело его на начальном этапе исследований положительных лучей к неправильному заключению, которого он придерживался до 1909 г., что в состав положительных лучей входят только ионы водорода или гелия. В это время он наблюдал параболы на экране.

Вскоре Томсон нашел, что удобнее исследовать параболы на фотографических пластинках. Пластины обладали большей чувствительностью, и с ними можно было делать более точные измерения. На фотопластинках он смог увидеть параболы, соответствующие различным газам (углекислому газу, кислороду, неону, парам ртути и т. д.).

В исследованиях положительных лучей Томсону помогал его ассистент и ученик Фрэнсис Уильям Астон (1877—1945), которого профессор пригласил в 1910 г.

Фотографии давали ценную информацию о природе положительных лучей и о процессах, происходящих в газовом

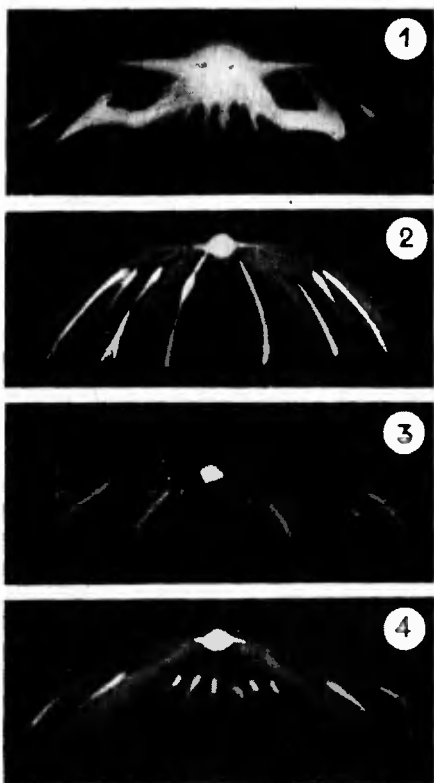
разряде, каждый отдельный род частиц давал свою особую параболу, поэтому фотографии их представляют нам сведения о частицах, присутствующих в газе.

Измеряя отношение  $\frac{e}{m}$ , мы можем определить состав газов, находящихся в газоразрядной трубке.

Фотографии также давали возможность определять электрическое состояние частиц — нейтральны ли они, или заряжены однократно, или многократно, или приобретают заряд в пространстве катода и т. д. Метод Томсона был очень чувствителен и, как считал сам автор, обладал преимуществами по сравнению со спектральным анализом. При длинных экспозициях методом парабол можно было обнаружить присутствие малых доз газов, какие не могли быть обнаружены спектральным анализом. Кроме того, метод Томсона не зависел от чистоты газа. Примеси давали новые параболы и не искажали данные измерения атомной массы. Метод позволял обнаруживать такие соединения (например,  $\text{CH}$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}_3$ ), какие в свободном состоянии существуют весьма короткое время, порядка миллионных долей секунды, и давал ясную картину о химических превращениях, происходящих в разрядной трубке.

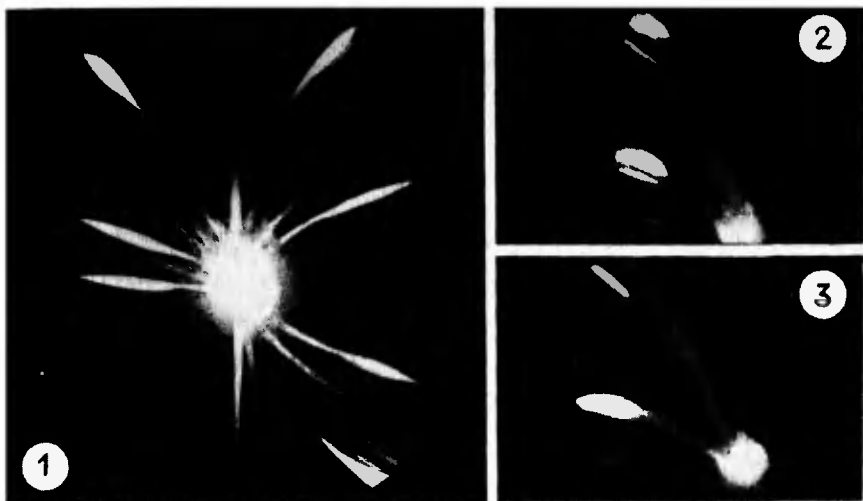
Исследование положительных лучей внесло огромный вклад в изучение как природы этих лучей, так и процессов, происходящих в газовом разряде. В отличие от некоторых ученых, считавших, что положительные лучи состоят из частичек металла катода, Томсон показал, что эти лучи являются ионами газа, образующимися в темном фарадеевом пространстве.

Томсон раскрыл сложные процессы ионизации, нейтра-



Фотографии парабол Томсона:

1— фото парабол, подвергаемых действию только магнитного поля; 2—4— типичные фотографии парабол при давлении газа 0,001 мм рт. ст.



Фотографии парабол Томсона:

1— фото параболы неона; 2—3— фото парабол неона и его изотопа.

лизации и диссоциации частиц, составляющих положительные лучи.

Метод Томсона стал мощным средством химического анализа. С его помощью были открыты изотопы неона. Изучая фотографии положительных лучей некоторых газов, Томсон, наряду с другими параболами, увидел яркую параболу неона с атомной массой 20. Рядом с этой параболой всегда обнаруживалась парабола с атомной массой 22. Он заключил, что ни один из известных элементов не обладает такой атомной массой, и сделал вывод: «... мы имеем дело с новым элементом».

Томсон еще не предполагал, что химический элемент может иметь изотопы. Возможность существования изотопов у атомов была предсказана в 1913 г. английским ученым Фредериком Содди (1877—1956). Томсон считал, что открытый им новый элемент входит в группу неона. Его ученик Астон разработал несколько методик для отделения нового элемента от неона. Вначале Астон пытался разделить газы посредством их поглощения углем из кокосового ореха. Однако это ему не удалось. Тогда он разрабатывает диффузный метод разделения. Об этом изобретении Астона Томсон писал: «Другой метод фракционирования, использованный г. Астоном, был более успешным и состоял в том, что смеси газов предоставлялась возможность диффундировать через пористое вещество, подобное мундштуку глиняной трубки для табака. Легкая составляющая диффундирует быстрее, чем тяжелая, и таким путем он получил достаточное изменение соотношения двух газов, что отмечалось изменением в яркости обеих линий на фотографии

положительных лучей и изменением плотности, достаточно большим, чтобы быть обнаруженным кварцевыми весами. Однако в спектре смеси нельзя было заметить никаких изменений; этот факт, равно как и безуспешность поглощения углем наводят на мысль, что оба газа, несмотря на их различный атомный вес, неразличимы в своих химических и спектральных свойствах».

Позже Астон создал первый масс-спектрограф и открыл еще два изотопа неона, а также изотопы других элементов. Созданный им масс-спектрограф действовал по электромагнитному методу, разработанному Дж. Дж. Томсоном.

Отметим еще одно важное изобретение, сделанное Томсоном в связи с изучением положительных лучей, — электрический метод регистрации лучей, с помощью которого он подсчитывал число заряженных частиц, составляющих эти лучи. Хотя фотографическая пластинка и являлась, как сказал Томсон, «превосходным средством для обнаружения различных родов положительных частиц», однако фотография лучей не давала возможности судить о числе частиц, составляющих положительные лучи, поскольку интенсивность линий на фотографии зависела не только от числа частиц, но и от других факторов. В частности, атомы легких веществ производят более сильное действие на фотографическую пластинку, чем атомы тяжелых. Томсон поставил на место фотографической пластинки металлическую пластинку, в которой была вырезана щель в форме параболы. За щелью находился цилиндр Фарадея, связанный с электрометром, так что заряд частиц, проходящих через щель, мог быть измерен, а следовательно, могло быть измерено и число заряженных частиц. Этот метод уточнял представление о положительных лучах и, вместе с фотографическим методом, был ценным средством в изучении этих лучей.

Исследования положительных лучей были обобщены Томсоном в монографии «Лучи положительного электричества», вышедшей в 1913 г. Из нее мы узнаем, что Томсон не только подробно изучил каналовые лучи, но и детально исследовал другой тип положительных лучей, возникающих в газоразрядной трубке. Он назвал эти лучи «обратными», поскольку их направление было противоположным направлению движения положительных лучей. Оно совпадало с направлением движения отрицательно заряженных частиц, составляющих катодные лучи. Оказалось, что по составу и по своим свойствам эти лучи мало чем отличались от обычных положительных лучей.

Для того чтобы объяснить, как частицы, образующие эти лучи, двигались против электрического поля, Томсон предложил следующую гипотезу. Нейтральные атомы или молекулы приобретают отрицательный заряд у катода. Эти отри-

цательные ионы ускоряются электрическим полем и в процессе движения в трубке сталкиваются дважды с молекулами газов, находящихся в трубке. Первое столкновение отрывает электрон у этих частиц, и они становятся нейтральными, второе столкновение отделяет от них еще один электрон, и они становятся положительно заряженными частицами.

В заключение отметим, что исследования Томсоном каналовых лучей не дали такого определенного ответа на вопрос о природе положительного электричества, какой он получил, исследуя природу отрицательного электричества. Томсон не обнаружил положительной частицы, меньшей, чем атом водорода, от которого был оторван электрон. Была эта частица единицей положительного электричества или нет — этот вопрос оставался для него открытым. Он писал: «Произведенные над единицей положительного электричества опыты показывают, что она обладает совершенно другими свойствами, чем единица отрицательного электричества: масса отрицательной единицы необыкновенно мала в сравнении с каким угодно атомом; напротив, те отдельные положительные единицы, которые были добыты до сих пор, по массе своей вполне сравнимы с массой атома водорода; по-видимому, они по массе действительно равны ему. Это обстоятельство не дает нам возможности удостовериться в том, что единица положительного электричества действительно нами выделена; мы должны постоянно иметь в виду, что она может представлять собою тело гораздо меньшее, пристающее к водородным атомам...» Высказывание Томсона о том, что положительное электричество сосредоточено в теле, меньшем по размеру, чем даже электрон, — в ядре атома, содержащем в себе почти всю массу атома, — было уже новым шагом в раскрытии природы положительного электричества.

## АТОМ ТОМСОНА

Первыми исследованиями положительных лучей Томсон начал заниматься в 1906 г., а за два года до этого появилась его статья «Структура атома», в которой была описана по существу первая модель атома. В этой статье им были развиты идеи, высказанные в 1903 г. в книге «Электричество и материя».

Со времен Демокрита (ок. 460—370 гг. до н. э.), древнегреческого ученого, одного из основателей атомистики, атом понимался большинством ученых как неделимая частица — первооснова всего существующего в мире. Однако по мере развития науки взгляд на атом постепенно менялся. Так, английский ученый Вильям Праут (1785—1850) в 1815 г. высказал гипотезу, что атомы всех элементов построены из

атомов водорода. Француз Жан Батист Андре Дюма (1800—1884) считал, что все атомы состоят не из водородного атома, а атома, в четыре раза меньшего. Открытие периодического закона выдающимся русским химиком Дмитрием Ивановичем Менделеевым (1834—1907) подтверждало мысль о сложном строении атома, указывало на общие свойства атомов различных элементов.

Некоторые ученые пытались раскрыть физическое содержание периодического закона, исходя из гипотез о структуре атома. Русский ученый, профессор Московского университета Борис Николаевич Чичерин (1828—1904), анализируя свойства химических элементов, также пришел к идее о сложном строении атома. Другой русский ученый, революционер Николай Александрович Морозов (1854—1946) в Шлиссельбургской крепости, в которой он был заточен за революционную деятельность с 1882 по 1905 г., на основе периодического закона Менделеева пришел к мысли о «составе атомов... из более мелких по своей массе скоплений первоначального вещества».

Ирландский ученый Джордж Джонстон Стоней (1826—1911), исходя из электромагнитной теории Максвелла и идеи дискретности заряда, в 1898 г. объяснял причину спектров орбитальным движением электронов в атоме.

Однако идеи этих ученых о сложном строении атомов были всего лишь гипотезами, смутными догадками, не опирающимися на экспериментальные доказательства. Открытия радиоактивности и электрона были как раз теми фактами, которые прямо говорили, что атом имеет сложное строение. Эти открытия дали новый толчок в разработке моделей атома.

Первой научной гипотезой о строении атома, опирающейся на новые открытия, была модель, предложенная Дж. Дж. Томсоном. Обращение к построению атома было вызвано открытием электрона, являющегося составной частью всех атомов. Кроме того, явление радиоактивности говорило о том, что оно зависит от «изменений, происходящих в атомах радиоактивных веществ». «Если это так, — писал Томсон, — то мы должны обратиться к проблеме строения атома и посмотреть, не можем ли мы объяснить замечательные свойства радиоактивных веществ. Поэтому не мешает рассмотреть, какое значение имеет существование корпускул для проблемы строения атома; и если даже модель атома, к которой нас приведут эти соображения, будет груба и несовершенна, то, может быть, она покажет нам пути исследований, которые могут дать нам новые сведения о строении атома».

В своей модели Томсон развивает теорию строения атома, предложенную в 1902 г. Уильямом Томсоном в статье «Эпинус атомизированный». У У. Томсона атом представляет собой сферу, равномерно заряженную положительным электричест-

вом, в центре которой помещен электрон. Дж. Дж. Томсон опирается на эту модель и предлагает свою.

Модель Дж. Дж. Томсона представляла собой равномерно заряженную положительным зарядом сферу, в которой вращались или покоились электроны (корпускулы, как их называл Томсон). Поскольку атом в целом нейтрален, то общий заряд электронов равен положительному заряду сферы. Объем сферы гораздо больше объема корпускулы. Электроны вращаются по круговым орбитам, расположенным на различных расстояниях от центра сферы, зависящих от скорости электронов. При некоторой скорости корпускулы достигают поверхности сферы, а дальнейшее увеличение скорости заставляет их покидать сферу. Это означает, что атом распался. Томсон заключает, что атом устойчив тогда, когда кинетическая энергия корпускул не превышает некоторой предельной величины. При движении корпускулы излучают энергию, при этом уменьшается их кинетическая энергия. Увеличение числа корпускул в атоме уменьшает излучение. Оно бы совершенно исчезло, если бы корпускулы «были расположены так тесно, что образовали бы непрерывное кольцо отрицательного электричества. Если бы то же число частиц двигалось вокруг в беспорядке, то излучение... было бы значительно больше». Явление радиоактивности, как считал Томсон, показывает, что в атоме могут происходить изменения. Далее он решает задачу о распределении корпускул в атоме.

Вначале Томсон рассматривает случай, когда электроны находятся в покое. Задача заключалась в том, чтобы найти такое расположение электронов в положительно заряженной сфере, при котором они находились бы в равновесии под действием сил притяжения со стороны сферы и сил отталкивания между собой. В случае одного электрона он получает простую комбинацию «атома Эпинуса»: два электрона располагаются в сфере по прямой линии, проходящей через центр. «При таком расположении,— пишет Томсон,— отталкивание ... вполне уравновешивается притяжением положительного электричества, и... равновесие будет устойчивое». Расстояние между электронами в этом случае равнялось радиусу сферы.

Для трех электронов устойчивое равновесие достигается, когда они располагаются в вершинах равностороннего треугольника со сторонами, равными радиусу сферы, и с общим со сферой центром.

Для четырех электронов устойчивое равновесие возможно, если они быстро вращаются. При отсутствии вращения устойчивое равновесие возникает, если электроны располагаются в вершинах правильного тетраэдра, центр которого совпадает с центром сферы.

«Задача о расположении внутри шара  $n$  корпускул,— пи-

шет Томсон, — в таком общем виде весьма сложна, и мне не удалось разрешить ее; мы можем, однако, решить задачу в том частном случае, когда корпускулы лежат в одной плоскости, проходящей через центр шара; из решения этой частной задачи мы можем вывести некоторые заключения о свойствах группировок, имеющие более общий характер».

Томсон нашел, что при числе электронов больше 5 равновесие системы не будет устойчивым. Устойчивость в таком случае достигается при расположении электронов по кольцам.

Свой аналитический вывод расположения электронов в атоме Томсон проверил экспериментально с помощью метода, разработанного в 1879 г. американским физиком А. Н. Майером для других целей. Сущность его заключалась в следующем. В пробковые диски воткнуты одинаково намагниченные иголки. Пробки плавают в воде, над поверхностью которой помещен магнит, обращенный противоположным полюсом к полюсам иголок.

Иголочки у Томсона выполняли роль корпускул, а магнит — роль заряженной сферы. Пуская поочередно пробки с иглами в воду, можно видеть, что три иглы располагаются в вершинах равностороннего треугольника, четыре — в вершинах квадрата, пять — в вершинах пятиугольника. Если пустить шесть игл, то пять располагаются в вершинах пятиугольника, а шестая игла будет уже располагаться в центре. Если пустить семь игл, то шесть из них расположатся в одном кольце, а седьмая — в его центре.

Этот метод плавающих магнитов наглядно представлял размещение электронов в атоме и подтвердил аналитические расчеты Томсона. На возможность другой проверки расчетов Томсона указали опыты другого американского физика — Роберта Вуда (1868—1955). В его опытах вместо магнитных иголок использовались железные шарики, которые плавали в ртути и намагничивались благодаря индукционному действию большого магнита, помещенного между ними. Шарики отталкивались друг от друга и притягивались к внешнему магниту. При уравнивании сил шары располагались так же, как иголочки Майера.

Томсон применяет свою теорию к объяснению происхождения линейчатого спектра.

Его модель атома позволяла объяснять и химические закономерности элементов. В периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева вещества расположены в порядке возрастания атомных масс в несколько рядов, причем элементы, обладающие аналогичными свойствами, образуют вертикальные столбцы. Понятие химического элемента сводится к понятию об атоме. Поэтому теория строения атома должна объяснять закономерности в химических свойствах элемен-

тов. Размещение электронов по кольцам в модели Томсона обнаруживало сходство с вертикальными столбцами таблицы.

Известный русский химик Лев Александрович Чугаев (1873—1922) писал: «Атомы модели Томсона в их взаимоотношении действительно представляют многие черты, характеризующие периодическую систему. Правда, мы не находим еще здесь полного подобия между действительностью и ее теоретическим воспроизведением, но это не удивительно, так как Томсон простоты ради должен был сузить свою задачу, искусственно свести расположение электронов к одной плоскости...»

При объяснении периодической системы Томсон предположил, что атомная масса элементов пропорциональна числу электронов. И для него было очень важно определить действительное число электронов в атоме. В книге «Корпускулярная теория вещества» Томсон рассматривает три метода определения этого числа. Первый метод основан на рассеянии рентгеновских лучей веществом. Отсюда он определил, что число электронов в атоме равнялось атомному весу.

Второй метод Томсона определения числа электронов в атоме основывался на исследовании поглощения катодных лучей веществом. Томсон связал коэффициент поглощения катодных лучей с числом электронов в атоме поглощающего вещества. И в этом случае он пришел к заключению, что число электронов в атоме равно атомному весу.

Третий метод Томсона определения числа электронов основывался на изучении дисперсии света при прохождении через одноатомный газ. И снова рассуждения Томсона привели к заключению, что число электронов в атоме примерно того же порядка, что и атомный вес.

Таким образом, в отличие от своих предшественников, которые предлагали модели атома, не основываясь на реальных фактах, Томсон строго обосновывал свою модель атома. Во-первых, он доказал, что в состав всех атомов входят маленькие отрицательно заряженные частицы — электроны. Во-вторых, он показал, как размещаются электроны по кольцам в атоме, что подтвердилось опытами Майера и Вуда. В-третьих, он обосновывал число электронов в атоме.

И все же модель Томсона не была свободна от недостатков. Главным из них был вопрос о распределении положительного заряда в атоме, размерах положительно заряженной сферы. Томсон знал об этом слабом месте своей модели. В книге «Корпускулярная модель вещества» он писал: «В каком виде положительное электричество пребывает в атоме — это вопрос, относительно которого мы в настоящее время осведомлены весьма мало... За отсутствием определенных сведений о том, в каком виде положительное электричество находится в атоме,

мы рассмотрим такое распределение положительного электричества, которое представляет собой случай, наиболее доступный для математического вычисления, именно — когда это электричество представляет собой шар постоянной плотности...» Для простоты Томсон предполагал, что электроны в его модели размещаются в одной плоскости. Эти слабости его модели проявились при объяснении различных физических и химических явлений. Так, томсоновская модель атома позволяла объяснить линейчатый спектр атомов, однако закономерности в спектрах не удалось объяснить. Не удалось полностью объяснить и периодическую систему, хотя, безусловно, модель Томсона обнаруживала сходство с законом Менделеева.

Модели атома Томсона был нанесен удар исследованиями Резерфорда и его учеников по рассеянию  $\alpha$ -частиц. Суть этих исследований заключалась в следующем. Поток  $\alpha$ -частиц, испускаемых радием, пропусклся через маленькое отверстие в трубку с откачанным из нее воздухом. На небольшом расстоянии от отверстия находился сернистоцинковый экран. При ударе о него  $\alpha$ -частиц получалось изображение светлого пятна. При закрывании отверстия тонкой металлической пластинкой изображение светлого пятна на экране несколько размывалось, т. е.  $\alpha$ -частицы рассеивались веществом металлической пластинки. Изучение рассеяния показало, что небольшое число  $\alpha$ -частиц (примерно  $1/8000$ ) отклонялось на угол больше  $90^\circ$ . Модель Томсона не допускала таких больших отклонений. Математический расчет показывал, что такие большие отклонения могут происходить, если  $\alpha$ -частицы попадают под влияние сильных электрических полей, существующих вокруг зарядов, сконцентрированных в очень малом объеме. Электрическое поле, создаваемое положительно заряженной, размытой по всему объему атома сферой, не могло оказывать такого сильного влияния на  $\alpha$ -частицу, и ее столкновение с электроном не могло повлиять на траекторию движения, поскольку масса  $\alpha$ -частицы почти в 8000 раз больше массы электрона. Поэтому Резерфорд приходит к выводу, что почти вся масса атома сосредоточена в положительно заряженном ядре. Вокруг него, как планеты вокруг Солнца, вращаются электроны.

Модель атома Резерфорда — это новый этап в развитии физики атома. Однако и она встретила с трудностями, которые не могла разрешить. Так, согласно классической электродинамике, вращающиеся электроны в атоме Резерфорда должны излучать энергию и в конечном счете упасть на ядро.

Томсон не мог принять планетарную модель, противоречащую законам классической физики. В то же время он не мог не признать и бесспорные факты, полученные Резерфордом при исследовании рассеяния  $\alpha$ -частиц. И в 1913 г. Томсон, учтя исследования Резерфорда, приходит к новой модели

атома. Теперь в его модели имеется ядро малых размеров, вокруг которого располагаются электроны. Сила взаимодействия между ядром и электронами у него уже не кулоновская. В остальном эта модель походила на первую.

Однако теория атома стала развиваться по другому пути, который наметил в том же 1913 г. замечательный датский физик Нильс Бор (1885—1962). Он взял за основу модель атома Резерфорда и дополнил ее новыми идеями.

И все же, несмотря на ограниченность, модель атома Томсона сыграла важную роль в развитии атомной теории. Его модель послужила источником многих идей как для ученых — современников Томсона, так и для физиков нашего времени. Безусловно, что многие его идеи были использованы Резерфордом и Бором при построении ими своих моделей атома, в частности идея распределения электронов по кольцам. Нильс Бор писал о модели атома Томсона: «Со времени знаменитой попытки Дж. Дж. Томсона истолковать периодическую систему на основании исследования устойчивости различных электронных конфигураций идея о разделении электронов в атоме на группы стала исходным пунктом и более новых воззрений. Предположение Томсона о распределении положительного заряда в атоме оказалось несовместимым с опытными результатами, полученными на основании изучения радиоактивных веществ. Тем не менее эта работа содержит много оригинальных мыслей и оказала большое влияние на дальнейшее развитие атомной теории».

И в наше время ученые обращаются к модели Томсона и находят ценные идеи для своих работ. Так, в современной модели ядра, так называемой оболочечной модели ядра, мы можем встретиться с кольцами Томсона, с этими первыми моделями оболочек; и пусть эти оболочки начинены в ядре не электронами, все же идея размещения частиц по оболочкам впервые была высказана Дж. Дж. Томсоном.

## **ТОМСОН И «НОВАЯ ФИЗИКА»**

В небольшой книге мы не смогли полно осветить многогранную деятельность Дж. Дж. Томсона. Томсон оставил после себя 13 монографий и более 200 печатных работ, в которых содержалось много ценных идей и которые сыграли большую роль в развитии физики. Мы рассказали о наиболее важных его работах, но даже этот короткий рассказ показывает, как много сделал Томсон для развития атомной физики и физики электронов, в разработке новых методов исследования заряженных частиц, в развитии динамических принципов механики и, наконец, в деле организации знаменитой международной школы физиков в Кавендишской лаборатории.

В заключение нам хотелось бы сказать несколько слов об отношении Томсона к так называемой «новой физике» — теории относительности и квантовой теории — и о его философских воззрениях.

Томсон прожил долгую жизнь. Он был свидетелем не только бурных политических событий и небывалого технического прогресса, но и расцвета и крушения классической физики. При его жизни появились электродинамика Максвелла, термодинамика, статистическая физика, электронная теория, атомная и ядерная физика. При его жизни появилась и так называемая «новая физика». Появление ее означало коренную ломку привычных представлений физиков — крушение основ классической физики.

Томсон был типичным представителем «старой физики», хотя, как мы видели, он своими исследованиями способствовал рождению современной физики. Было бы интересно проследить, как же он принял новые теории. Но прежде скажем несколько слов об истоках этих теорий.

Классическая физика берет свое начало в XVII в. и получает завершение в самом конце XIX в. Наиболее яркие страницы в ее историю вписали такие ученые, как Ньютон, Фарадей, Максвелл. Основой классической физики, ее краеугольным камнем было учение о непрерывности изменения. Однако в самом начале XX столетия оно было подвергнуто пересмотру открытием немецкого физика Макса Планка (1858—1947). К своему открытию он пришел, изучая тепловое излучение абсолютно черных тел.

Известно, что если нагревать какое-нибудь тело, например кусок зачерненного железа, то оно начинает светиться, причем с увеличением температуры нагревания меняется и окраска свечения от темно-бурого цвета к желтому. По электромагнитной теории Максвелла, свет — это электромагнитная волна. Следовательно, согласно максвелловской теории, нагретое тело излучает электромагнитные волны. Для того чтобы уяснить механизм теплового излучения, многие физики пытались установить, как же распределяется энергия теплового излучения в зависимости от длин испускаемых волн и температуры. В качестве объекта излучения было взято абсолютно черное тело. Таким телом можно считать толстый слой сажи, черный бархат. Оно поглощает все падающие на него лучи и его излучение, как показал еще в 1859 г. немецкий физик Густав Кирхгоф (1824—1887), не зависит от свойств вещества, из которого сделано черное тело. Всякие попытки физиков найти закон распределения энергии в спектре абсолютно черного тела на основе соображений классической физики, в частности термодинамики и электродинамики, приводили к неудаче.

Наконец в 1900 г. Планку удалось найти закон распреде-



Макс Планк

ления энергии абсолютно черного тела. Основная задача теплового излучения была решена. При ее решении Планку пришлось ввести гипотезу о том, что энергия излучения испускается не непрерывным потоком, как следовало бы из законов классической физики, а в виде отдельных порций — квантов энергии. Квант энергии равен  $E=h\nu$ , где  $h$  — постоянная, которую в честь Планка называли его именем,  $\nu$  — частота.

Экспериментальная проверка подтвердила его закон.

Поначалу многие физики с недоверием отнеслись к идее кван-

тования. Сам Планк пытался совместить свою теорию с классической физикой, но безуспешно. Известны попытки Х. А. Лоренца, Дж. Х. Джинса и Дж. Дж. Томсона ввести теорию излучения черного тела Планка в рамки классической физики, которые окончились неудачей.

Постепенно кванты Планка получали все большее распространение. С их помощью было объяснено явление фотоэффекта. Квантовые представления вторгались в объяснение электропроводности металлов, в теорию строения атома. Новые идеи находили все больше сторонников, особенно у физиков молодого поколения. Но у теории квантов было и много противников. Томсона нельзя отнести к врагам квантовых представлений. Его отношение к новой теории было таким же, как у большинства ведущих физиков его поколения. Томсон признавал успехи теории квантов, но старался совместить ее с привычной для него классической физикой.

Он писал: «Закон Планка оказался неоценимым путеводителем для исследования и признан, я думаю, повсеместно. Но вы увидите, что тогда как он согласуется вполне естественно с корпускулярной теорией света, если мы предположим, что энергия, которой обладает каждая корпускула определенного вида света, равна кванту энергии света, он совершенно чужд волновой теории, которая предполагает сплошное, а не атомное распределение энергии. Положение таково, что все оптические явления указывают на волновую теорию, все электрические — на что-то в роде корпускулярной теории». Томсон попытался найти связь этих двух теорий, примирить квантовую теорию с классической электродинамикой Максвелла. Общим основанием такого примирения у него выступили силовые линии электрического поля, которые были для Томсона не просто способом графического изображения полей, а физическими

реальностями. Свойства силовых линий напоминали свойства обычного материального упругого тела. Они обладали инерцией и, подобно растянутой пружине, упругим напряжением.

С помощью силовых линий Томсон создает модель светового кванта, представляющую кольцо, образованное замкнутыми силовыми линиями. Подробно мы не будем останавливаться на модели кванта Томсона из-за ее сложности. Отметим только, что это кольцо двигалось у Томсона со скоростью света и не меняло при этом ни своих размеров, ни формы. Оно могло колебаться с частотой, обратно пропорциональной длине его окружности. Каждому кванту энергии соответствовало свое кольцо, причем все кольца различны по размерам. Волны малой длины, такие, как рентгеновские, имели малые квантовые кольца, а длинные, такие, как видимый свет, — большие. Значение постоянной в формуле для связи энергии и частоты у Томсона определялось отношением наружного радиуса кольца к внутреннему, и это число соответствовало постоянной Планка. Томсоновское кольцо позволяло объяснить и волновые свойства тела — интерференцию, дифракцию. Таким образом, с помощью представления об электрических силовых линиях Томсон попытался синтезировать классическую электродинамику с квантовой теорией.

Однако история физики показала несостоятельность попыток Томсона. Квантовая теория родилась тогда, когда классическая физика встала в тупик при попытках объяснения закономерностей теплового излучения тел. Потребовались новые понятия, несомнимые с представлениями классической физики, уходили в прошлое наглядные и понятные модели явлений классической физики. И все же в попытках Томсона примирить классическую теорию с квантовой имелось рациональное зерно. Физики — сторонники квантовой теории — должны были, опровергая доводы такого авторитетного ученого, добывать новые факты в пользу этой теории, тем самым обогащая и развивая ее. С другой стороны, в идеях Томсона содержались черты, которые также могли быть использованы в новой физике. Так, мы говорили (с. 73), что при исследовании рентгеновских лучей Томсон пришел к понятию о прерывном (квантовом) характере волнового фронта, предвосхищая будущие квантовые идеи Эйнштейна.

Следует сказать, что Томсон оставил свои попытки связать классическую физику с квантовой теорией и изменил к ней отношение после того, как его сын Джордж Паджет Томсон (1892—1975) в 1927 г. открыл дифракцию электрона и тем самым подтвердил волновой характер движения электрона<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Отметим, что, независимо от сына Томсона, в том же году дифракцию электронов открыли американские физики К. Дэвиссон (1881—1958) и Л. Джермер (1896—1971).

Обратимся к теории относительности. Она возникла из исследований оптических явлений и изучения вопроса о влиянии движения тел на эти явления, из попыток обнаружить движение Земли относительно эфира.

На принципиальную возможность обнаружения движения Земли относительно эфира указывал еще Максвелл, но он считал, что чувствительность прибора для улавливания этого эффекта должна быть очень высокой, порядка  $10^{-8}$ , и вряд ли возможно создать прибор, обладающий такой чувствительностью. Однако в 1881 г. американский ученый Альберт Майкельсон (1852—1931) сконструировал такой точный прибор (знаменитый интерферометр Майкельсона) и первый эксперимент с ним попытался провести в Берлинской лаборатории Гельмгольца. Однако сотрясения здания лаборатории, расположенной на оживленной улице, мешали работе интерферометра, и Майкельсон перевозит свой прибор в обсерваторию города Потсдама. Опыты, проведенные здесь, дали отрицательный результат: никакого относительного движения Земли и эфира обнаружить не удалось. В 1887 г. Майкельсон совместно со своим соотечественником, профессором химии Эдуардом Морли (1838—1923) ставит новый эксперимент и вновь получает отрицательный результат.

Это было совершенно непонятно. Многие известные физики считали, что эфир неподвижен и, следовательно, движение Земли относительно эфира должно быть обнаружено. Сам изобретатель интерферометра решил, что надо отказаться от гипотезы неподвижного эфира и принять предположение о полном увлечении эфира движущимся телом.

В 1890 г. гипотезу полностью увлекаемого эфира развил замечательный немецкий физик Генрих Герц. Она хорошо объясняла отрицательный результат опыта Майкельсона, однако была не в состоянии объяснить другие явления в оптике движущихся тел, в частности aberrацию света.

Аберрация (по-латински «уклонение») была открыта в 1728 г. английским астрономом Джеймсом Брадлеем (1693—1762). Он заметил изменение положения неподвижных звезд с периодичностью в год. Брайлей объяснил это явление, исходя из представлений о конечности распространения света и годичного движения Земли вокруг Солнца. Если наблюдать в телескоп свет от звезды, падающий на поверхность Земли под некоторым углом, то за время, пока свет проходит через зрительную трубу телескопа, Земля вместе с ним перемещается. Чтобы свет от звезды был в центре поля зрения телескопа, его надо повернуть на некоторый угол по направлению движения Земли.

Голландский ученый Хендрик Лоренц считал, что эфир неподвижен. В 1892 г., объясняя отрицательный результат опыта Майкельсона, он предположил, что тела, движущиеся

в эфире, сокращают свои размеры в направлении движения на

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

где  $l_0$  — длина тела, покоящегося относительно эфира,  $v$  — скорость тела относительно эфира,  $c$  — скорость света. Так появилось знаменитое сокращение Лоренца. Отметим, что другие важные релятивистские эффекты были получены Томсоном еще в 1881 г. — это зависимость массы от скорости движения тел, предельное значение скорости света и связь массы и энергии. Продолжая развивать свои взгляды на оптические и электромагнитные явления в движущихся телах, Лоренц, по существу, приблизился к утверждению принципа относительности для электромагнитных явлений. Как мы знаем, в механике такой принцип был введен Галилеем. Он гласил, что никакими механическими опытами невозможно установить, покоится данная система или движется равномерно и прямолинейно. Лоренц высказал предположение, что никакими мыслимыми опытами невозможно обнаружить относительное движение Земли и эфира. По существу, это есть обобщение принципа относительности в механике на электромагнитные явления. Однако у Галилея явления происходили одинаково в любой из систем, покоящихся или движущихся равномерно и прямолинейно, в то время как Лоренц признавал только неподвижную систему (неподвижный эфир).

Впервые принцип относительности для любых физических явлений был введен французским ученым Анри Пуанкаре (1854—1912). Он показал, что не только в неподвижной, но и в любой другой системе отсчета, движущейся равномерно и прямолинейно, законы физических явлений будут одинаковыми. Однако к такому заключению он пришел, исходя из представлений классической физики и гипотезы неподвижного эфира.

Принцип относительности стал фундаментом теории относительности, созданной Альбертом Эйнштейном (1879—1955). Но его теория потребовала коренной ломки представлений о пространстве и времени.

Еще Ньютон, формулируя свои законы механики, ввел понятия абсолютного пространства — пустого, неподвижного и однородного, являющегося «вместилищем всех тел», и абсолютного времени, текущего равномерно, само по себе. Движение относительно абсолютного пространства считалось абсолютным. Позже физики заполнили пустое пространство Ньютона эфиром и искали абсолютное движение Земли относительно неподвижного эфира.



Альберт Эйнштейн

же Эйнштейн разработал и общую теорию относительности, которая имела отношение и к системам отсчета, движущимся ускоренно.

В нашу задачу не входит рассмотрение основных положений теории относительности<sup>1</sup>. Нас интересует, как встретил Томсон появление этой теории.

В книге «Размышления и воспоминания» Томсон писал: «Результаты, возникающие из принципов относительности, были удивительны и объяснение их Эйнштейном было великолепным...» Он вспоминал, что теория относительности возбудила интерес к ней и ученых, и широкой публики. Лекции по этой теории собирали огромную аудиторию, книги мгновенно раскупались. В среде аристократов и церковников стало модным поговорить о теории относительности. Церковники считали, что эта теория имеет прямое отношение к религии, поскольку в ней было много таинственного. Они обращались к Томсону с просьбой сказать свое мнение о взаимоотношении теории относительности и религии. Томсон отвечал, что «эта теория ничего общего с религией не имеет». Сам он как физик восхищался мастерством Эйнштейна-математика, но считал его теорию не такой фундаментальной, как уравнения Максвелла, из которых можно получить все те конкретные результаты, которые были получены в теории Эйнштейна, — зависимость массы от скорости, связь массы и энергии, сокращение длины тел, замедление времени и т. д. Томсон считал, что у Эйнштейна «много говорится о пространстве и ни слова не

<sup>1</sup> Подробнее об истории создания теории относительности Эйнштейном см.: Спасский Б. И. Физика в ее развитии. М., Просвещение, 1979; Кудрявцев П. С. Курс истории физики. М., Просвещение, 1982.

говорится об эфире, хотя, по существу, пространство должно обладать качествами, которые мы приписываем эфиру».

До конца жизни Томсон верил в существование эфира и строил бесчисленные его модели. Он писал: «Эфир — не просто создание спекулятивного философа, он для нас так же необходим, как воздух, которым мы дышим. Мы должны помнить, что живем на Земле не за счет собственных источников энергии, мы ежеминутно зависим от того, что получаем от Солнца, а дары Солнца доставляются нам эфиром».

Что касается общей теории относительности, то Томсон признавался, что «эта теория требует весьма сложной и трудной математики», которую он не понимал. Однако Томсон отдавал должное мастерству, с которым Эйнштейн решал задачи «трансцендентной трудности».

В заключение скажем несколько слов о философских взглядах Томсона. Он стоял на позициях стихийного материализма. Материализм Томсона особенно проявил себя в период так называемого «кризиса в физике», когда революционные открытия конца XIX — начала XX в. привели некоторых ученых к идеализму. Среди этих открытий были открытия Томсоном электрона, электромагнитной массы и зависимости этой массы от скорости. Некоторые ученые-физики высказывали мысль об исчезновении реальной или механической массы тел; об «исчезновении материи», о «подрыве» основ механики и т. д.

В чем же причина таких неверных представлений некоторых ученых? Еще Ньютон в своей механике определял массу как меру количества материи. При чем под количеством материи он понимал количество однородных атомов, из которых состоят тела. Ньютон показал и способ определения массы. Она пропорциональна весу тела и определять ее можно с помощью весов.

В 1881 г. Томсон установил, что для заряженных тел, кроме обычной ньютоновской массы, существует еще электромагнитная масса. Расчет Томсона показывал, что электромагнитная масса становится заметной для микроскопических тел. В 1897 г. Томсон открыл электрон, самую малую из известных тогда частиц, входящую в состав атомов всех веществ. Механическая масса электрона оказалась равной нулю, вся его масса была электромагнитной. Так как все тела состоят из электронов и протонов, масса которых также электромагнитного происхождения, рассуждали эти ученые, значит, обычной массы, или массы покоя, у них нет, а есть только электромагнитная масса. Но эта масса не могла быть мерой количества материи, так как она изменяется в зависимости от скорости тела. Это и побудило некоторых ученых говорить об «исчезновении материи».

В. И. Ленин в своем гениальном труде «Материализм и

эмпириокритицизм» подверг глубокому анализу этот так называемый «кризис физики» и показал физикам, как надо ориентироваться в сложном мире естественнонаучных открытий.

Вот как разрешил В. И. Ленин проблему «исчезновения материи»: «Материя исчезает» — это значит исчезает тот предел, до которого мы знали материю до сих пор, наше знание идет глубже; исчезают такие свойства материи, которые казались раньше абсолютными, неизменными, первоначальными (непроницаемость, инерция, масса и т. п.) и которые теперь обнаруживаются, как относительные, присущие только некоторым состояниям материи. Ибо *единственное* «свойство» материи, с признанием которого связан философский материализм, есть свойство *быть объективной реальностью*, существовать вне нашего сознания»<sup>1</sup>.

В. И. Ленин показал ученым, впавшим в мистицизм и идеализм, что нет «никакого исчезновения материи». Электромагнитная масса так же материальна, как и обычная ньютоновская масса, ибо она существует независимо от нашего сознания. «Электрон так же *неисчерпаем*, как и атом, природа бесконечна...»<sup>2</sup> Гениальное предвидение Ленина о неисчерпаемости электрона подтверждается последними открытиями в физике.

Следует отметить, что, анализируя состояние в физике, вызванное революционными открытиями, В. И. Ленин изучал ряд трудов по физике. Среди них была книга Томсона «Корпускулярная теория материи». В этом труде четко прослеживаются твердые материалистические убеждения автора. Электромагнитная масса Томсона так же материальна, вещественна, как и ньютоновская. Эта масса распределяется в поле, окружающем заряженное тело, т. е. электромагнитное поле у Томсона материально. Как мы знаем, Томсон установил, что оно обладает одной механической величиной — импульсом. В то время как некоторые ученые говорили о нарушении основных положений механики (закона сохранения масс, сохранения импульса, третьего закона Ньютона и т. д.), утверждали невозможность познания мира, Томсон овестьствовал электромагнитное поле и показал, как объяснять кажущиеся нарушения законов механики для электромагнитных явлений.

Томсон высказывал мысли о сложном строении электрона, о бесконечности научного исследования. В одной из своих лекций, опубликованной в книге «По ту сторону электрона»,

<sup>1</sup> Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. — Полн. собр. соч., т. 18, с. 275.

<sup>2</sup> Там же, с. 277.

Томсон писал: «В этой лекции я пытался показать, что свойства электрона, обнаруженные позднейшими открытиями, ведут к взгляду, что электрон не является предельным этапом в строении материи, но что он сам обладает структурой, состоя из мелких частей, несущих электрические заряды...»

Отвечая на вопрос, следует ли идти за пределы электрона, он сказал: «Очарование физики в том и состоит, что в ней нет жестких и твердых границ, что каждое открытие не является пределом, а только аллеей, ведущей в страну, еще не исследованную, и сколько бы ни существовала наука, всегда будет изобилие нерешенных проблем, и физикам никогда не будет опасности стать безработными».

Этими словами мы и закончим рассказ о замечательном ученом.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

---

Предисловие	3
Жизнь Томсона	4
Исследования по электричеству и магнетизму	12
Кавендишская лаборатория	19
Открытие электрона	29
Школа Томсона	40
Электронная теория проводимости металлов	50
Лучи положительного электричества	56
Атом Томсона	62
Томсон и «новая физика»	68

*Сергей Павлович Кудрявцев*

**Д. Д. ТОМСОН**

---

**Зав. редакцией Н. В. Хрусталь**

**Редактор Л. Л. Величко**

**Мл. редактор О. В. Агапова**

**Художественный редактор В. М. Прокофьев**

**Художники А. М. Прокофьев, Е. Р. Седых**

**Технический редактор А. В. Пригода**

**Корректоры Л. А. Ежова, Н. В. Красильникова**

**ИБ № 9173**

Сдано в набор 11.12.85. Подписано к печати 09.09.86. А 08691. Формат 60 × 90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. офсетная № 2. Гарнит. школьная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5. Усл. кр.-отт. 5,5. Уч.-изд. л. 5,06. Тираж 100 000 экз. Заказ 1179. Цена 15 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Смоленский полиграфкомбинат Росглавполиграфпрома Государственного комитета РСФСР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 214020, г. Смоленск, ул. Смольянинова, 1.